

مطالعه انتشار سه بعدی آلاینده مایع در محیط مایع

آرمین مکی آبادی^{۱*} ، بهادر ابول پور^۲

^{۱*} - دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده محیط زیست، دانشگاه صنعتی سیرجان

^۲ - استادیار، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه صنعتی سیرجان

* ایمیل نویسنده مسئول : Armin.maki2013@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۹/۱۰/۰۳

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۹/۱۷

چکیده

در دنیای امروز، روش‌های مختلفی برای به دست آوردن میزان آلودگی و انتشار آن در محیط‌های گوناگون (آب، خاک، هوا) وجود دارد. یکی از روش‌های نوین، استفاده از شیت لیزر جهت مطالعه انتشار آلاینده در محیط مایع می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از شیت لیزری، به پردازش تصاویر حاصل از انعکاس نور لیزر بازتاب شده توسط آلاینده در محیط مایع پرداخته می‌شود. ضبط و ثبت این انعکاس توسط دوربین نور مرئی صورت گرفته و سپس با استفاده از علم پردازش تصویر به پیکسل خوانی داده‌های ثبت شده و همچنین به وسیله کد نوشته شده در نرم افزار متلب، پرداخته می‌شود. طبق نتایج آزمایش‌های صورت گرفته، با توجه با اثر دما بر انرژی جنبشی مولکول‌های محیط مایع، بیشترین ضریب نفوذ به ترتیب در محیط مایع با دمایی گرم‌تر، هم‌دما و سردتر از دمای آلاینده است. طبق نتایج آزمایش اثر کشش سطحی، خاصیت الاستیک آب، باعث افزایش پخشیدگی آلاینده تزریق شده بر روی سطح نسبت به تزریق زیر سطح در محیط مایع می‌شود.

کلمات کلیدی

"پخشیدگی"، "آلاینده"، "پردازش تصویر"، "شیت لیزر"، "مدل سازی"

Study of 3D diffusion of liquid contaminants in a liquid medium

Armin makiabadi^{1,*}, Bahador Abolpour²

^{1*} . Master student of Environmental Engineering, University of Technology, sirjan, Iran

² . Assistant Professor, Faculty of Chemical Engineering, University of Technology, sirjan, Iran

*Email Address: Armin.maki2013@gmail.com

Abstract

In today's world, various methods are being applied for obtaining pollution amount and its emission in different environments (water, soil, and air). Laser sheets is a new method to study the diffusion of contaminant in a liquid medium. In this study, the images resulting reflecting from the visible light shone on the pollutant in a liquid environment are processed. The camera records this reflection, and then the data is pixelated using the image processing and simulated by the code written in MATLAB software. According to the results of experiments on the effect of temperature on the liquid environment, the highest diffusion coefficients are in warmer, isothermal and colder environments, than the pollutant temperature, respectively. According to the experimental results, due to the effect of temperature on the kinetic energy of molecules in the liquid medium, the highest diffusion coefficients are in the liquid medium with warmer, isothermal, and colder temperatures for pollutant, respectively. Based on the experimental results of the surface tension phenomenon, the elastic property of water increases the surface injected pollutant diffusion compared to the sub-surface injection in the liquid medium.

Keywords

"Diffusion", "Contaminant", "Image Processing", "Laser sheet", "Modeling"

مقدمه

در دهه‌های اخیر، دنیا با مسائل زیست‌محیطی فراوانی روبه‌رو شده است. یکی از مهم‌ترین آن‌ها، آلاینده‌های محیطی که توسط فعالیت‌های انسانی تولید و باعث تهدید و از بین رفتن منابع آب، خاک و هوا می‌شوند. بنابراین مسائل مربوط به آلودگی آب در چارچوب کنترل و پیش‌بینی خطرات و آسیب‌های وارده، یکی از حائز اهمیت‌ترین منابع را در برمی‌گیرد. انتقال آلاینده به سفره‌های آب‌های زیرزمینی و حل شدن آن با آب، بیشترین سهم در انتقال و انتشار آلودگی در محیط‌زیست را در برمی‌گیرند. بنابراین اهمیت بررسی و چگونگی انتشار و گسترش آلودگی، یکی از مسائل مهم را فراهم می‌نماید. میزان ماده آلاینده^۱، مسیر انتقال و انتشار، ماندگاری و مقدار غلظت آلاینده در عمق‌های مختلف، اساسی‌ترین اطلاعاتی است که در مدیریت آب و خاک به منظور جلوگیری از انتشار و انتقال در محیط‌های آبی و خاکی استفاده می‌شود (پرماد و قادری، ۱۳۹۳). آلودگی‌های نفتی منتشرشده در دریاها نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است که در چند دهه‌ی اخیر توجه بسیاری از پژوهشگران را در رشته‌های مختلفی چون مهندسی دریا، پتروشیمی، شیمی، بیولوژی و محیط‌زیست به خود جلب کرده است. موضوعات موردبررسی مهندسان پتروشیمی، غالباً در ارتباط با نصب تجهیزات و تأسیسات ساحلی، بیولوژیست‌ها و مهندسان محیط‌زیست، مشکلات ناشی از پخش آلودگی‌ها و روش‌های پیشگیرانه را مورد مطالعه قرار می‌دهند (Ghannam and Chaalal, 2003). آب مهم‌ترین مسئله برای بقای انسان و یکی از منابع ارزشمند در زمینه‌ی توسعه‌ی صنعت و اقتصاد است. فجایع ناشی از فعالیت‌های انسانی، یکی از راه‌های ورود آلودگی به رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و دریاهاست. همین امر، باعث انتقال آلودگی به سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود. یافتن منبع و زمان وقوع آلودگی یکی از راه‌های حفاظت از آب در برابر آلودگی است (Yang and Luo, 2014). یکی از راه‌های شناسایی آلودگی منابع آب، استفاده از شبکه‌هایی از حسگرهاست. شبکه‌های حسگر، وظیفه تشخیص غلظت و پایش^۲ آلودگی را بر عهده دارند (Harris et al., 2016). یکی از کاربردهای این پایش در صنعت هوانوردی و هوافضا است. تصویرسازی از سیال در تونل‌های باد با استفاده از دستگاه‌های شبیه‌سازی، جریان‌های مختلف که شیء در محیط واقعی با آن روبرو خواهد شد را به نمایش می‌گذارد. این نوع دستگاه‌ها برای تصویرسازی جریان سیال در حالت‌های دوبعدی مورد استفاده قرار می‌گیرند و نتایج نسبتاً دقیقی را ارائه می‌دهند. این طراحی سیستم نه تنها اقتصادی است بلکه از همه مهم‌تر، حجمی از جریان حول یک جسم ایجاد می‌کند. این روش می‌تواند در صنایع هوافضا و هوانوردی بسیار سودمند باشد (Latif et al., 2017). برای شبیه‌سازی انتشار و پخش آلودگی، روش‌های دیگری نیز وجود دارد. یکی از این روش‌ها، شبیه‌سازی در مقیاس میکرو است. این روش به شناسایی رفتار و جریان‌های غیریکنواخت می‌پردازد. علاوه بر این، شبیه‌سازی در مقیاس میکرو می‌تواند اطلاعات دقیق از محل و توزیع سیال و سرعت آن فراهم کند (نمازیان و نمازیان، ۱۳۹۶). روش‌های متعددی برای تعیین ضریب انتشار در محلول‌های شفاف وجود دارد. روش‌های نوری یکی از دقیق‌ترین روش‌های مورد استفاده برای تعیین ضریب انتشار است. روش نوری شامل تداخل سنجی

هولوگرافی^۳ و الگوی القایی الکترونیکی^۴ است؛ اما عیب بیشتر روش‌های نوری این است که در محیط‌های صنعتی اعمال دقیق نور دشوار است. اجرای این روش آسان و ارزان است و برای توسعه‌ی روش‌های جدید و اندازه‌گیری پخش‌ییدگی‌ها، کاربرد فراوانی دارد (Spagnolo et al., 1996). یکی از عوامل تأثیرگذار بر انتشار آلاینده درون محیط مایع، کشش سطحی^۵ می‌باشد. کشش سطحی، نیرویی است که بر روی سطح آب و در نتیجه برهم‌کنش‌های بین‌مولکولی که در محدوده‌ی میکروسکوپی به وجود می‌آید و جهت این نیرو به سمت داخل سطح و تمایل به کاهش مساحت دارد (Rosen, 1978). کشش سطحی ویژگی‌ای در مایع‌ها است که باعث می‌شود لایه بیرونی به‌صورت ورقه‌ای الاستیک عمل کند. هر مولکول در داخل مایع از همه طرف توسط مولکول‌های دیگر محصور شده و نیروی رابایشی از طرف سایر مولکول‌های دیگر بر آن وارد می‌شود. به علت تقارن، برآیند این نیروها صفر است، یعنی هر نیرو با نیروی مساوی و هم‌اندازه ولی در جهت مخالف خنثی می‌شوند. ولی برای یک مولکول که در سطح مایع آب قرار دارد این تقارن وجود ندارد. برآیند این نیروها، عمود بر سطح به سمت داخل مایع است. این نیرو را، نیروی کشش سطحی گویند. در این حالت، سطح مایع مانند یک پوسته‌ی کشیده رفتار می‌کند (خرمی، ۱۳۹۶). اسماعیل نژاد (۱۳۸۶) به بررسی انتشار آلاینده‌های نفتی در آب‌های زیرزمینی و ارائه روش‌هایی برای حذف و کاهش آلاینده‌ها، پرداخت. در این تحقیق بنزین، یکی از مواد نفتی که دارای ترکیبات سمی BTEX، یکی از مهم‌ترین آلوده‌کننده‌های منابع آب‌های زیرزمینی به شمار می‌آید. نحوه پراکندگی مواد در چهار فاز (بخار، فاز اشباع و غیراشباع، فاز آزاد و فاز محلول) موردبررسی قرار گرفت. طبق نتایج به‌دست‌آمده، مواد نفتی علاوه بر آثار نامطلوب بر انسان و موجودات زنده، پس از نشست به لایه‌های خاک و آب تحت تأثیر شعاع گسترده‌ای، پراکنده شدند. عواملی همچون حلالیت ترکیبات نفتی، سرعت جریان آب‌های زیرزمینی، میزان فعالیت موجودات ذریبینی و نوع خاک به شعاع پراکندگی آلودگی مؤثر هستند. معینی و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی هم‌زمان کشش بین سطحی نفت خام و آب پرداختند. کشش بین سطحی به‌روش قطره آویزان، متغیرهای دما به‌صورت ماده فعال سطحی بررسی شدند. میزان شوری آب با استفاده از روش BBD^۶ طراحی و اندازه‌گیری شد. اثر نوع سورفکتانت (یونی و غیر یونی) در شرایط مختلف دمایی ارزیابی شده است. طبق نتایج به‌دست‌آمده، افزایش دما باعث کاهش خطی کشش سطحی آب و نفت می‌شود. نتیجه حاصل از روش BBD، از بین سه متغیر نمک، دما و سورفکتانت، مهم‌ترین متغیر مؤثر بر کشش سطحی سورفکتانت‌ها می‌باشند. سورفکتانت‌های غیر یونی اثری بر کاهش کشش سطحی ندارند. پردازش تصاویر که امروزه بیشتر به موضوع پردازش تصویر دیجیتال شناخته می‌شود، شاخه‌ای از دانش رایانه است. پردازش تصویر، یکی از مؤلفه‌های اساسی در سیستم‌های هوشمند است. پردازش بر روی تصاویر دیجیتال و توسط سیستم‌های کامپیوتری اعمال می‌شود. کاربردهای متنوع پردازش تصویر در زمینه‌های مختلف فنی، صنعتی، پزشکی و علمی باعث شده که به یک موضوع بسیار فعال در میان

^۴ Electronic Speckle Pattern Interferometry^۵ Surface tension^۶ Box Benchehn^۱ Contaminant^۲ Monitoring^۳ Interferometry Holographic

حالت ممکن باشد. در این آزمایش از شیر به عنوان ماده آلاینده و در حجم‌های ۰/۳ و ۰/۵ میلی لیتر استفاده شده است. نحوه تزریق شیر در آزمایش‌های بررسی تأثیر دما و بررسی در شرایط هم‌دما، زیر سطح آب توسط سمپلر، بررسی پدیده کشش سطحی، روی سطح آب توسط پیپت و پوار انجام می‌شود. برای انجام این آزمایش از صفحه پلاستیکی شناور به شعاع ۳ سانتی‌متر و ایجاد حفره‌ای در مرکز آن به قطر ۱ میلی‌متر، استفاده شده است. دماهای مورد استفاده در این پژوهش، ۴۰ و ۱۷ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. برای رساندن آب به دماهای مورد نظر، از سیستم کنترل دما استفاده شده است. این سیستم متشکل از کنترلر اتونیکس، حسگر اندازه‌گیر، هیتر حرارتی عایق شده، کنتاکتور، فیوز، ترمینال و کلید ساخته شده است که وظیفه کنترل دمای سیال و انتقال حرارت را بر عهده دارند. شکل شماره ۱ نمای کلی سیستم آزمایش را نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمای کلی انجام آزمایش

ویرایش و بهبود تصاویر و به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز از تصویر گرفته‌شده یا به عبارتی هنر تغییر و تفسیر تصویر و به دست آوردن اطلاعات مورد نیاز را پردازش تصویر می‌گویند. این فرایندها می‌توانند برای افزایش دقت تصویر^۶ به کار بروند یا می‌توانند برای جدا کردن یک بخش مشخص از تصویر^۷ استفاده شوند. پس می‌توان گفت عملیات انجام‌گرفته بر روی یک عکس یا فیلم در پردازش تصویر شامل سه مرحله کلی می‌باشد. این مراحل شامل: گرفتن تصویر با دوربین‌ها و حسگرهای دیجیتال، تجزیه و تحلیل تصویر (که شامل فشرده‌سازی اطلاعات، بهبود تصویر و تشخیص الگوست) و گرفتن خروجی یا گزارشی از نتیجه‌ی تجزیه و تحلیل تصاویر است (Gonzalez et al., 2004). پردازش تصویر معمولاً با دو روش آنالوگ و دیجیتال صورت می‌گیرد. پردازش به‌صورت آنالوگ، یکی از تکنیک‌های بصری پردازش تصویر است که به‌صورت چاپ و عکس استفاده می‌شود. پردازش به‌صورت دیجیتال، که امروزه بیشتر شناخته‌شده است دارای کاربردهای متعددی از تجزیه و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای تا کنترل ابعاد قطعات میکروسکوپی می‌باشد (Ekstrom, 2012). متداول‌ترین فرمت‌های فایل‌های تصویری BMP, PNG, GIF, TIFF, JPEG می‌باشند. عمده تفاوت فایل‌های تصویری در مواردی همچون فشرده‌سازی^۸،

زمینه‌های پژوهشی تبدیل گردد (بامدی و همکاران، ۱۳۹۸). ویتالاحمد^۱ (۲۰۱۱) به بررسی جریان‌های آشفته هوا و روغن به کمک حسگرهای خازنی و پردازش تصویر پرداخت. جریان‌های آشفته هوا و روغن نسبت به هوا و آب، در صنایع اهمیت بسزایی دارد. در این آزمایش جریان هوا و روغن با سرعت‌های مختلف از طریق لوله‌های افقی عبور داده شدند. بررسی داده‌ها بر اساس حسگرهای خازنی به کمک پردازش تصویر صورت گرفته، سرعت و طول حباب‌های به‌دست‌آمده و مورد آنالیز قرار داده شده و در نهایت با مدل‌های موجود مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده در دو ناحیه بالا و پایین لوله مورد ارزیابی قرار گرفتند. بر اساس حباب‌های به وجود آمده، سرعت در قسمت بالادست لوله بیشتر از قسمت پائین‌دست بوده و به تدریج کاهش یافته است. لیزر، ابزاری است که نور را به‌صورت پرتوهای موازی و باریک با طول موج مشخصی، ساطع می‌کند. این دستگاه از ماده جمع‌کننده یا فعال‌کننده نور تشکیل‌شده که درون محفظه‌ای قرار دارد. این ماده، پرتو نور را که به‌وسیله یک منبع انرژی بیرونی از نوع الکتریسیته یا نور به وجود آمده، تقویت می‌کند. لیزر از نظر ماهیت هیچ تفاوتی با نور عادی ندارد. ویژگی‌های منحصر به فرد لیزر آن را از نورهای دیگر متمایز می‌سازد که در هیچ منبع نوری دیگری یافت نمی‌شود. مشخصات اصلی لیزر عبارت است از: طول موج^۲؛ فرکانس^۳؛ سرعت^۴؛ دامنه^۵ (بهجت، ۱۳۹۴). لطیف^۶ و همکاران (۲۰۱۷) با استفاده از لیزرهای پیوسته و به کمک آینه به بررسی جریان‌های به وجود آمده بر سطح یک جسم پرداختند. نور لیزر با استفاده از سیستم کنترل جریان به صورت یکنواخت به سطح جسم تابیده می‌شود. با به وجود آمدن لایه‌هایی از لیزر می‌توان تصویری از جریان را که در حجم‌های زیاد تولید می‌شود را مشاهده کرد. بر اساس آنچه که در این قسمت ذکر شد هدف از این تحقیق مطالعه‌ی انتشار سه بعدی آلاینده‌ی مایع در محیط مایع با استفاده از شیت لیزر در محیط آزمایشگاهی به صورت عددی و تجربی است. بدین منظور، پس از تهیه و ساخت تجهیزات آزمایشگاهی مورد نیاز، ابتدا به انجام آزمایشات و ثبت تصاویر برداشته شده از انتشار سه بعدی آلاینده درون محیط مایع با استفاده از شیت لیزری پرداخته شده، سپس این تصاویر توسط کد نوشته شده در نرم افزار متلب پردازش شده و با نتایج حاصل از مدل‌سازی ریاضی صورت گرفته در همین پژوهش مقایسه شده است. در نهایت به بررسی اثر فاکتورهای تأثیرگذار بر شدت نفوذ آلاینده در این محیط پرداخته شده است.

روش انجام تحقیق

وسایل مورد استفاده برای انجام آزمایش‌های پدیده انتشار عبارتند از: دوربین، تزریق‌کننده، مخزن شیشه‌ای، شیت لیزری، پایه لیزرها، سیستم کنترل دما، پوار و پیپت و دماسنج جیوه‌ای. پس از مستقر کردن دوربین و شیت لیزر، مخزن شیشه‌ای تا ارتفاع ۳۲ سانتی‌متر از آب پر می‌شود. لازم به ذکر است، دوربین باید ثابت و بدون حرکت باشد. زیرا حرکت دوربین باعث ایجاد خطا در ثبت داده می‌شود. فاصله بین شیت لیزر تا مخزن شیشه‌ای ۱۰ سانتی‌متر و فاصله مخزن شیشه‌ای تا دوربین ۳۰ سانتی‌متر می‌باشد. هنگام شروع آزمایش، محیط آزمایشگاه باید در کم نورترین

⁶ Latif

⁷ Image Enhancement

⁸ Image Segmentation

⁹ Compression

¹ Wael Ahmed

² Wave Length

³ Frequency

⁴ Velocity

⁵ Amplitude

جدول ۱- پارامترهای به دست آمده از محیط مایع

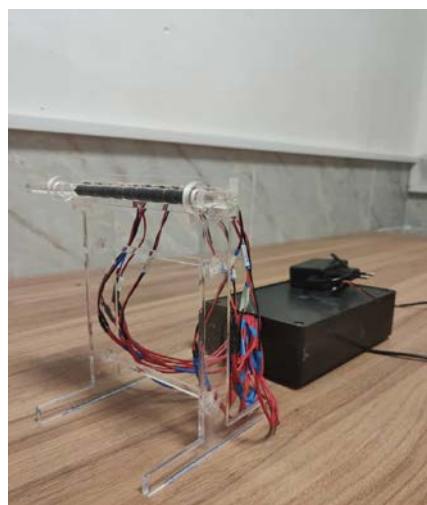
معادل فارسی	میزان	واحد
زمان نهایی	۷/۱	ثانیه
چگالی شیر	$1/03 \times 10^3$	کیلوگرم بر مترمکعب
جرم مولکولی شیر	۱۸/۰۲	کیلوگرم بر کیلو مول
ضریب تجمع پذیری	۲/۲۶	-
جرم مولکولی آب	۱۸/۰۲	کیلوگرم بر کیلو مول
ویسکوزیته آب	$1/03 \times 10^3$	کیلوگرم بر متر ثانیه
حجم جز حل شده شیر	۴۵/۲۰۳۹	متر مکعب بر کیلو مول
دما	۲۹۳	کلوین

پدیده نفوذ مولکولی^۷ و حرکت توده‌ای^۸ نقش عمده‌ای در انتقال جرم ایفاء می‌کنند. نفوذ مولکولی پدیده‌ای است که بر اساس حرکت تصادفی مولکول‌ها و از غلظت بالاتر به غلظت پایین‌تر صورت می‌گیرد. حرکت توده‌ای از اخلاف چگالی در جابه‌جایی یا اختلاف در فشار مکانیکی یک سیستم صورت می‌گیرد. در حقیقت عامل انتقال جرم تغییرات غلظت است که از غلظت بیشتر به سمت غلظت کمتر رخ می‌دهد و تا رسیدن به حالت تعادل و یکنواختی غلظت ادامه می‌یابد (Socolofsky and Jirka., 2005). همچنین نفوذ یک پدیده وابسته به زمان است. پس لازم است بدانیم که نفوذ با چه سرعتی رخ می‌دهد یا نرخ انتقال جرم^۹ چقدر است. این نرخ معمولاً با J شار نفوذ^{۱۰} طبق قانون اول فیک^{۱۱} به‌صورت رابطه ۱ بیان می‌شود:

$$J = -D \frac{dc}{dx} \quad (1)$$

در عمل بسیاری از نفوذها ناپایدار است، به‌طوری‌که در این نوع نفوذ رابطه بین غلظت و مکان خطی نیست. بعلاوه در اغلب موارد نفوذ

کیفیت^۱، شفافیت^۲، انیمیشن^۳ می‌باشد. انواع تصاویر در متلب شامل: تصاویر رنگی^۴ متشکل از سه رنگ اصلی قرمز، سبز و آبی، تصاویر سیاه‌وسفید^۵ متشکل از مقادیر پیکسلی صفر (رنگ مشکی) و یک (رنگ سفید) و تصاویر خاکستری^۶ مقادیر پیکسلی بین ۰ تا ۲۵۵ می‌باشند (Gonzalez et al., 2004). بعد از فراخوانی داده‌های ثبت شده در کد توسعه یافته پردازش تصویر در نرم افزار متلب، شروع به شبیه‌سازی داده‌های فراخوانی شده در حالت‌های دوبعدی و سه بعدی به صورت هوشمند شده است. شیت لیزری، به وسیله ۱۰ عدد لیزر نقطه‌ای که به‌صورت افقی کنار یکدیگر قرار گرفته اند و با استفاده از یک استوانه شیشه‌ای که عمود بر نور این لیزرها قرار گرفته است، ساخته شده است. این صفحات لیزری ایجاد شده با استفاده از یک کیت طراحی و ساخته شده با فواصل زمانی در حد میکروثانیه و بسیار دقیق به ترتیب روشن و خاموش می‌شوند. بنابراین، این سیستم متشکل از یک برد الکترونیکی برنامه‌ریزی‌شده، منبع تغذیه ۳ ولتی با جریان ۲ آمپر برای تأمین برق موردنیاز لیزرها، یک استوانه شیشه‌ای به قطر یک سانتیمتر جهت تبدیل نورهای لیزر نقطه‌ای به صفحات نوری می‌باشد. هر ماژول لیزر از سه منبع تغذیه ۳ ولت و توان ۵ میلی وات ساخته شده است. بر روی هر لیزر یک عدسی تنظیم شدت و تمرکز نور با چرخاندن سر هر لیزر قابل تنظیم است. پایه شیت لیزر، از صفحه‌ای به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر، فاصله بین دوپایه ۱۲ سانتی‌متر و از ۱۰ عدد لیزر بافاصله مرکزی ۱/۲ سانتی‌متر به‌صورت افقی ساخته شده است. پایه ساخته‌شده از جنس پلکسی می‌باشد. شکل ۲ نمایی از این سیستم را نمایش می‌دهد.



شکل ۲- نمای شیت لیزر

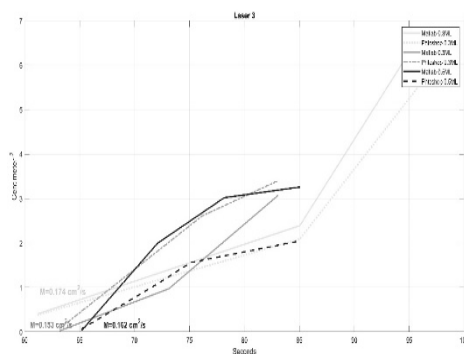
قبل از مدل‌سازی عددی با کد نوشته‌شده در نرم‌افزار متلب، بایستی اطلاعاتی از محیط مایع و ماده تزریق شونده به دست آورد. این اطلاعات شامل زمان نهایی تزریق شیر، چگالی شیر، جرم مولکولی، ضریب تجمع پذیری، جرم مولکولی آب، دما، ویسکوزیته آب، حجم مولکولی جز حل شده شیر در نقطه‌جوش طبیعی می‌باشد. این اطلاعات در جدول ۱ جمع‌آوری شده است.

⁷ Molecular Diffusion⁸ Advection⁹ Mass Diffusion Flux¹⁰ Diffusion Flux¹¹ Fick¹ Quality² Transparency³ Animation⁴ RGB⁵ Binary Images⁶ Grayscale Images

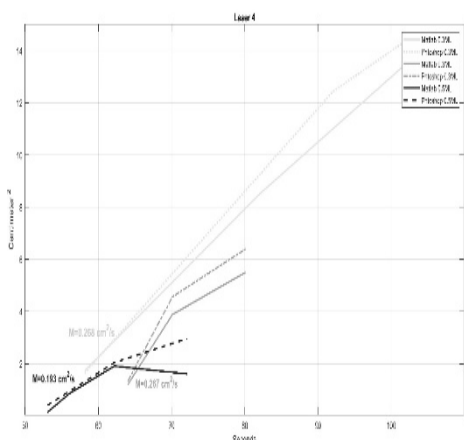
$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{C - C_t - 1}{\Delta t} \quad (۶)$$

نتایج

در آزمایش‌های سری اول و دوم، تزریق ۰/۳ میلی‌لیتر شیر در سه لیتر شماره ۵،۴،۳ از ۱۰ لیتر موجود مشاهده شده است و در آزمایش سوم، تزریق ۰/۵ میلی‌لیتر شیر در چهار لیتر ۵،۴،۳ مشاهده شده است. لحظه تزریق با توجه به مختصات مرکزی تزریق‌ها در تمامی آزمایش‌ها، در لیتر شماره ۵ قابل مشاهده می‌باشد. نتایج تغییرات غلظت آلاینده در این آزمایش‌ها در شکل‌های ۵،۴،۳ و ۶ ارائه شده‌اند. شکل ۷، اولین فرم بدست آمده از لیتر شماره ۵ برحسب سانتی‌متر در حالت‌های دو بعدی و سه بعدی توسط کد توسعه یافته پردازش تصویر به صورت هوشمند می‌باشد. اطلاعات بدست آمده از شبیه‌سازی کامپیوتری نیز در جدول ۲ جمع‌آوری شده است. در این مدل‌سازی عددی با نرم افزار متلب، ابتدا با وارد کردن مقادیر اولیه (جدول ۱) و جایگزین در معادله گسسته شده فیک با اعمال شرایط مرزی، نرم افزار شروع به حل عددی مدل انتشار در محیط مایع کرده و پس از ثابت شدن غلظت و همگرایی محاسبات، غلظت آلاینده در مکان‌ها و زمان‌های مختلف پیشگویی شده است. شکل ۸، نمودار بدست آمده از پخشیدگی آلاینده در محیط مایع توسط کد نوشته شده در نرم افزار متلب می‌باشد.



شکل ۳- لیتر شماره ۳- به ترتیب رنگ‌بندی، رنگ خاکستری و طوسی حجم ۰/۳ میلی لیتر، رنگ مشکی حجم ۰/۵ میلی لیتر



شکل ۴- لیتر شماره ۴- به ترتیب رنگ‌بندی، رنگ خاکستری و طوسی حجم ۰/۳ میلی لیتر، رنگ مشکی حجم ۰/۵ میلی لیتر

به صورت ناپایا است، یعنی شار نفوذ و گرادینان غلظت در یک نقطه نسبت به زمان متغیر است. برای محاسبه گرادینان غلظت در حالت نفوذ ناپایا از قانون دوم فیک و به صورت معادله ۲ بیان می‌شود:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} - D_y \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} - D_z \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} \quad (۲)$$

این معادله تنها زمانی به کار می‌رود که ضریب نفوذ (D) و همچنین چگالی سیال ثابت باشد. ضریب نفوذ یک ویژگی از انتقال^۱ است که میزان انتشار و اختلال غلظت در یک مخلوط را مشخص می‌کند. محاسبه‌ی ضرایب نفوذ در پیش‌بینی پدیده‌ی انتقال جرم و در نتیجه انتشار آلاینده‌ی بسیار مهم است، زیرا ضریب انتشار در حل معادله فوق، مورد استفاده قرار می‌گیرد که حل آن به تعیین توزیع غلظت آلاینده و نرخ انتشار می‌انجامد (Capobianchi et al., 1998). ضریب نفوذ یک محلول بسیار رقیق در یک حلال (با توجه به این که غلظت شیر در محیط مورد مطالعه بسیار پایین است) از معادله ویلک و چنگ بدست می‌آید (Wilke and Chang., 1995). حل معادله (۲) هنگامی امکان‌پذیر است که شرایط اولیه و مرزی مشخص باشد که این شرایط به صورت زیر بیان می‌شوند:

- مشتق غلظت آلاینده در جهت عمود بر دیواره‌ها و سطح آزاد مایع، برابر با صفر است.

$$\sigma_c(i_x, i_y, i_z, i_t) = 0$$

- غلظت در نقطه مرکزی در لحظه اول مشخص و در سایر نقاط برابر با صفر است.

روش‌های زیادی برای گسسته‌سازی معادلات دیفرانسیل وجود دارند. روش پیشرو، پسرو و مرکزی، متداول‌ترین روش‌هایی هستند که برای گسسته‌سازی معادلات دیفرانسیل استفاده می‌شوند. برای گسسته‌سازی معادلات دیفرانسیل در سه بعد از روش مرکزی استفاده شده است (Socolofsky and Jirka., 2005). در این روش، از نقطه قبلی و بعدی برای تقریب مشتق استفاده می‌شود که طبق رابطه‌های ۳ تا ۵ بیان می‌شوند:

$$\frac{\partial c}{\partial x} = \frac{(c_{i+1}) - (c_{i-1})}{2\Delta x} \rightarrow \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} = \frac{(c_{i+1}) + (c_{i-1}) - 2c_i}{\Delta x^2} \quad (۳)$$

$$\frac{\partial c}{\partial y} = \frac{(c_{i+1}) - (c_{i-1})}{2\Delta y} \rightarrow \frac{\partial^2 c}{\partial y^2} = \frac{(c_{i+1}) + (c_{i-1}) - 2c_i}{\Delta y^2} \quad (۴)$$

$$\frac{\partial c}{\partial z} = \frac{(c_{i+1}) - (c_{i-1})}{2\Delta z} \rightarrow \frac{\partial^2 c}{\partial z^2} = \frac{(c_{i+1}) + (c_{i-1}) - 2c_i}{\Delta z^2} \quad (۵)$$

برای حل معادلات دیفرانسیل و تحلیل آن‌ها در کد نوشته شده نرم‌افزار متلب، از روش صریح^۲ استفاده شده است. در این روش، نتایج دقیق‌تری و سریع‌تر نسبت به روش ضمنی^۳ است اما کمتر همگرا می‌شود. این روش طبق رابطه ۶ بیان می‌شود (Socolofsky and Jirka., 2005).

³ Implicit

¹ Advection

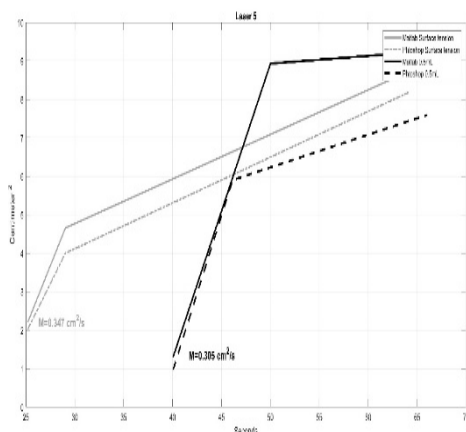
² Explicit

جدول ۲- اطلاعات بدست آمده توسط کد توسعه یافته پردازش تصویر- لیزرهای

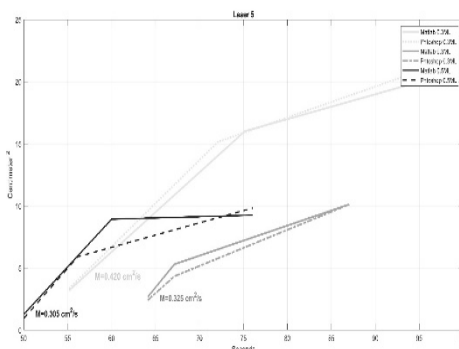
شماره ۵۴۲۳

لیزر شماره ۵		لیزر شماره ۴		لیزر شماره ۳	
مساحت (cm ²)	زمان (s)	مساحت (cm ²)	زمان (s)	مساحت (cm ²)	زمان (s)
۴/۹۴۸	۴۱/۰۹	۲/۶۳۴	۴۴/۰۸	۰/۳۱۱	۴۷/۰۵
۹/۶۰۰	۵۱/۰۴	۷/۸۴۵	۶۰/۱۱	۳/۰۷۰	۶۰/۰۵
۱۴/۷۷۲	۸۰/۰۴	۸/۳۷۰	۷۳/۱۰	۵/۷۱۶	۸۹/۰۶
۹/۵۸۷	۹۶/۰۷	۶/۷۸۵	۸۶/۰۸	۳/۸۸۶	۱۰۸/۱۳
۲/۳۵۰	۱۰۲/۱۷	۱/۵۵۸	۹۲/۱۸		
۱/۳۵۶	۱۰۹/۰۶	۰/۰۸۷	۱۰۸/۱۹		

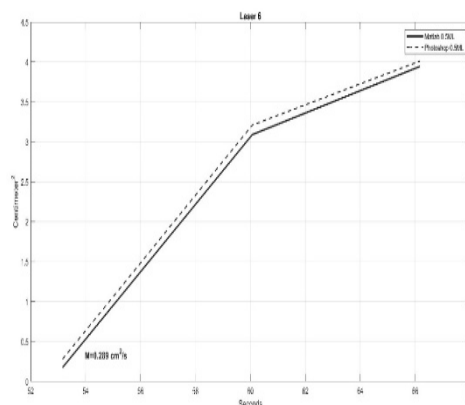
مشاهده شده که با تزریق‌های مختلف انجام شده، ضرایب نفوذ متفاوت به دست آمده‌اند، بنابراین، ضریب نفوذ آلاینده در این محیط مایع تابعی از غلظت تزریق نبوده است. اما از طرف دیگر، بیشترین مقدار ضرایب نفوذ در لیزر شماره ۵ (شکل ۵) بدست آمده است که دلیل آن تزریق در موقعیت این لیزر است، پس بیشترین غلظت و در نتیجه بیشترین ضرایب نفوذپذیری در این لیزر مشاهده شده است. این امر نشان می‌دهد که، هر چند تفاوت جزئی غلظت تزریق تأثیری بر کلیت نفوذ ماده آلاینده در این محیط مایع را ندارد، اما توزیع شدید غلظت این آلاینده درون محیط تأثیر زیادی بر ضریب نفوذ درون مایع دارد. به عبارت دیگر ضریب نفوذ آلاینده درون مایع تابعی از غلظت آلاینده درون این محیط می‌باشد. شکل‌های ۹ و ۱۰ بترتیب نشان دهنده اثر کشش سطحی محیط مایع و همچنین اختلاف دمای آلاینده و محیط مایع بر شدت نفوذ هستند. طبق نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش پدیده کشش سطحی، خاصیت الاستیکی به وجود آمده، باعث افزایش ضرایب نفوذپذیری شده است. طبق تئوری کوکر، حرکت مولکول‌ها در سطح بیشتر از دیگر مولکول‌های آب است. همین حرکت مولکول‌ها باعث افزایش ضریب نفوذپذیری شده است (Coker, 1995). همچنین دیده شده که در محیط سرد (منحنی طوسی شکل ۱۰)، میزان نفوذپذیری نسبت به محیط هم‌دم (منحنی مشکی) کمتر است. طبق تئوری‌های موجود، هرچه دما آب کاهش یابد، فاصله بین مولکول‌ها و انرژی جنبشی آنها کاهش پیدا می‌کند. در نتیجه ضربه‌های وارده از سوی مولکول‌های آب به آلاینده ضعیف و نفوذ این مولکول‌ها درون محیط دشوارتر می‌باشد.



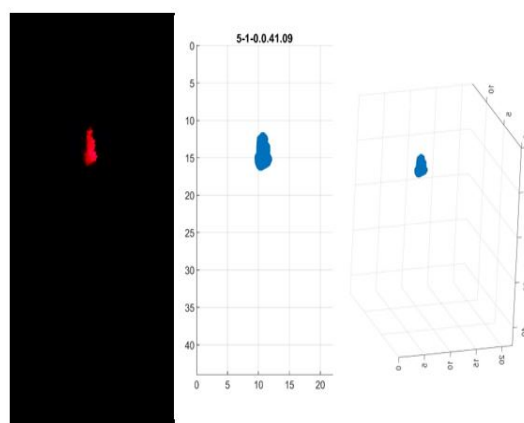
شکل ۹- نتایج به‌دست‌آمده از پدیده کشش سطحی



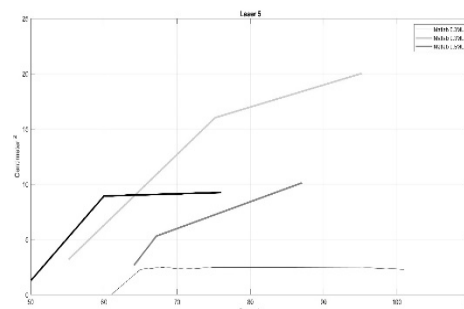
شکل ۵- لیزر شماره ۵- به ترتیب رنگ‌بندی، رنگ خاکستری و طوسی حجم ۰/۳ میلی لیتر، رنگ مشکی حجم ۰/۵ میلی لیتر



شکل ۶- لیزر شماره ۶- رنگ مشکی - حجم ۰/۵ میلی لیتر

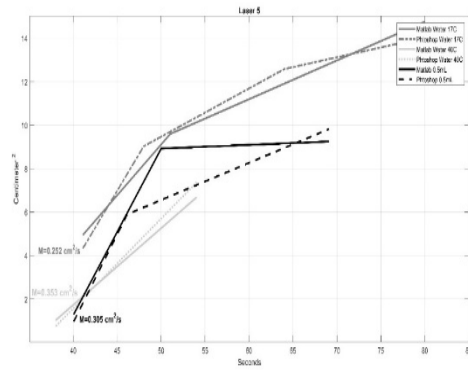


شکل ۷- نمونه‌ای از شبیه‌سازی آلاینده با استفاده از کد توسعه یافته پردازش تصویر در حالت دوبعدی و سه بعدی



شکل ۸- لیزر شماره ۵- نمودار بدست آمده از مدلسازی عددی توسط نرم افزار متلب

پدیده کشش سطحی و تأثیر دما بر پدیده انتشار می‌باشند. ضرایب نفوذ پذیری، در شرایط محیطی هم‌دما و در حالت تزریقی یکسان با یکدیگر برابر می‌باشند. بیشترین ضرایب نفوذ پذیری به ترتیب در شرایط محیطی گرم، هم دما و سردتر از دمای آلاینده می‌باشد. بالا رفتن دما، باعث افزایش انرژی جنبشی مولکول‌های محیط مایع می‌شود. با افزایش انرژی- جنبشی، حرکت مولکول‌های آب نیز زیاد و در نتیجه باعث افزایش ضریب نفوذ پذیری می‌شود. در محیط سرد، عکس این قضیه صورت می‌گیرد. طبق نتایج حاصل از پدیده کشش سطحی بر محیط مایع، خاصیت الاستیک به وجود آمده در سطح، باعث افزایش ضریب انتشار می‌شود. این افزایش انتشار به دلیل تمایل حرکت بیشتر مولکول‌های آب در سطح می‌باشد. بیشترین ضریب نفوذ پذیری در محل تزریق مشاهده شده است زیرا بیشترین غلظت آلاینده در این نقطه بوده و ضریب نفوذ نیز تابعی از غلظت آلاینده بوده است، در نتیجه بیشترین ضرایب نفوذ پذیری در محل تزریق مشاهده شده‌اند.



شکل ۱۰- نتایج به دست آمده از محیط‌های گرم و سرد

نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده شامل، نتایج حاصل از پدیده انتشار در محیط مایع به کمک شیت لیزر در حجم‌های ۰/۳ و ۰/۵ میلی لیتر، اثر

منابع

- اسماعیل نژاد، ا؛ و سام، ع. (۱۳۸۶). چگونگی انتشار آلاینده‌های نفتی در آب‌های زیرزمینی و ارائه روش‌هایی برای کاهش و حذف این آلاینده‌ها. نهمین سمینار سراسری آبیاری و کاهش تبخیر، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان.
- بامدی، م.، شریفی صدر، ف. و رجایی، ا. (۱۳۹۸). مروری بر پردازش تصویر فازی و کاربردهای آن. ششمین کنگره ملی تازه‌های مهندسی برق و کامپیوتر ایران، دانشگاه خوارزمی، تهران.
- بهجت، ع. ۱۳۹۴. لیزر اصول و کاربردها، جلد چهارم: دانشگاه یزد.
- پرمراد، م؛ و قادری، ر. (۱۳۹۳). آشنایی با انواع آلاینده‌های منابع آبی و اثرات آن‌ها. اولین همایش ملی محیط‌زیست، دانشگاه پیام نور واحد دهقان، دهقان.
- خرمی، م. ۱۳۹۶. فیزیک پایه سیالات، حرارت و امواج، جلد دوم: انتشارات فاطمی.
- عطائیان، آ. (۱۳۹۵). ارزیابی چهار الگوی عددی گسسته سازی زمانی و مکانی در شبیه سازی دوبعدی انتقال و انتشار جرم در یک محیط آبی. چهارمین کنگره بین‌المللی عمران، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.
- معینی، ف.، تقی‌خانی و.، همتی سرابرده، ع. ح؛ و قطبی، س. (۱۳۹۱). بررسی اثرات هم‌زمان پارامترهای مؤثر بر کشش سطحی نفت خام و آب. چهاردهمین کنگره ملی مهندسی شیمی ایران، دانشگاه شریف، تهران.
- نمازیان، ظا؛ و نمازیان، ج. (۱۳۹۶). شبیه سازی عددی نفوذ جریان مایع در یک محیط متخلخل به روش شبکه بولتزمن. مجله مهندسی مکانیک مدرس، ۷۹(۶): ۷۹_۸۹.
- Ahmed, W. H. J. I. j. o. m. f. 2011. Experimental investigation of air-oil slug flow using capacitance probes, hot-film anemometer, and image processing. 37(8), 876-887.
- Capobianchi, M., Irvine Jr, T. F., Tutu, N. K., Greene, G. A. J. E. t., and science, f. 1998. A new technique for measuring the Fickian diffusion coefficient in binary liquid solutions. 18(1), 33-47.
- Coker, A.k. (1995). Physical property of liquids and gases. Fortran programs for chemical process design, analysis and simulation: (103-149). Houston: Gulf publishing company. Chen, S., and Doolen, G. D. J. A. r. o. f. m. 1998. Lattice Boltzmann method for fluid flows. 30(1), 329-364.
- Crank, J. Ye ar. The mathematics of diffusion: Oxford university press.
- Ekstrom, M. P. (2012). Digital image processing techniques (Vol. 2). Academic Press.
- Ghannam, M. T., & Chaalal, O. (2003). Oil spill cleanup using vacuum technique☆. Fuel, 82(7), 789-797.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., & Eddins, S. L. (2004). Digital image processing using MATLAB. Pearson Education India.
- Harris, N., Cranny, A., Rivers, M., Smettem, K., Barrett-Lennard, E. G. J. I. T. o. I., and Measurement. 2016. Application of distributed wireless chloride sensors to environmental monitoring: Initial results. 65(4), 736-743.
- Latif, W., Bagalkotkar-Khokhar, R., He, S., Elzawawy, A., and Natanova, M. A. (2017). Board# 134: MAKER: Volumetric Flow Visualization System Using CW Laser & Scanning Mirrors. 2017 ASEE Annual Conference & Exposition.
- Rosen, J. M. (1978). Surfactants and Interfacial Phenomena John Wiley. New York, NY.

- Socolofsky, S. A., Jirka, G. H. J. E. L. t. E. T. A., and University, M. 2005. Special topics in mixing and transport processes in the environment. 1-93.
- Spagnolo, G. S., Ambrosini, D., Ponticiello, A., and Paoletti, D. J. J. d. P. I. 1996. A simple method of determining diffusion coefficient by digital laser speckle correlation. 6(8), 1117-1125.
- Wilke, C. R., & Chang, P. (1955). Correlation of diffusivities in dilute solutions, Am. Ind. Chem. Eng. J, 1-264.
- Yang, J., and Luo, X. J. J. o. S. 2016. A study on water pollution source localization in sensor networks. 2016.