بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده فیزیک

بخش فیزیک

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته فیزیک گرایش اتمی و مولکولی

نشت یابی لوله های نفتی با استفاده از حسگرهای حرارتی فیبر نوری توزیعی رامان

استاد راهنما:

دکتر مجید تراز

استاد مشاور:

دکتر محمد حسین زندی

مؤلف :

آرش آقاسی نیا

مرداد ماه 1390

تقدیم به

خانواده ام

بویژه

پدر و مادرم

تشکر وقدردانی

در ابتدا از زحمات اقای دکتر مجید تراز کمال تشکر را دارم که در این راه همواره مرا یاری کردند.

همچنین از راهنمایی های آقایان دکتر علیرضا بهرامپور و دکتر محمدحسین زندی تشکر مینمایم.

از پدر ،مادر و برادرانم که در این مسیر همواره پشتیبان من بوده اند سپاسگزارم.

و در نهایت از دوستان خوبم سید ایوب موسوی، نیما عسکری، علی باقری و محمد هوشمند تشکر میکنم.

چکیده:

در این پایان نامه به منظور جلوگیری از نشت نفت از لوله های نفتی و ایجاد خسارت های تجاری و آسیب های زیست محیطی مدلی طراحی شده است که با استفاده از حسگر حرارتی فیبر نوری توزیعی رامان محل نشت نفت را مشخص میکند. بدین صورت که با نشت نفت و نفوذ آن در خاک، دمای خاک افزایش می یابد و به تبعیت آن حسگر فیبر نوری که در عمق 20 تا 30 سانتیمتری خاک کار گذاشته شده است این تغییر دما را آشکارسازی خواهد کرد.

حسگر دمایی بکار رفته در این مدل به گونه ای طراحی شده است که از لیزرهای تجاری معمولی که در دستگاه های OTDR استفاده میشود، استفاده میکند[15].

واژه های کلیدی: پایستگی جرم، پایستگی انرژی، محیط متخلخل، پراکندگی رامان، حسگر دمایی فیبر نوری

فهرست مطالب

فصل اول

مقدمه.....1

فصل دوم

نفوذ جرم و انرژی در یک محیط متخلخل

2–1 مقدمه.....8
2–2 پایستگی جرم.....9
2–3 پایستگی انرژی.....15
2–4 سیستم توصیف شده توسط- T-ψ.....18
2–5 سیستم توصیف شده توسط T-θ.....21

فصل سوم

پراکندگی رامان و حسگرهای توزیعی حرارتی تحریکی رامان

3–1 پراکندگی رامان.....26
3–1–1 تاریخچه.....26
3–1–2 توصیف پراکندگی رامان توسط یک مدل کلاسیک.....27
3–1–3 توصیف کوانتمی پراکندگی رامان.....36

2–3 منحنی بهره رامان.....40
3–3 تقویت بوسیله پمپ.....41
4–3 وابستگی دمایی اثر رامان.....43
5–3 پراکندگی رامان از یک تک مولکول.....44
1–5–3 شدت پراکندگی رامان در یک فیبر نوری.....46
6–3 حسگرهای فیبر نوری.....49
1–6–3 اساس حسگرهای توزیعی فیبر نوری(DOFS).....50
2–6–3 حسگر فیبر نوری رامان.....51
1–2–6–3 سیستم LTI.....52
2–2–6–3 بررسی یک سیستم LTI شامل یک پمپ وسیگنال.....53
3–2–6–3 محاسبه توان سیگنال خروجی از حسگر.....55
3–6–3 آنالیز نوفه.....59
1–3–6–3 نوفه های ناشی از آشکارساز.....59
2–3–6–3 نوفه های مربوط به اثر رامان.....61
3–3–6–3 دیگر نوفه ها.....62
4–6–3 تبدیل فوریه و نوفه زدایی در روش فوریه.....63
1–4–6–3 روش نوفه زدایی FoRD.....64
2–4–6–3 حد آستانه WFoRD–TFoRD.....65
5–6–3 تبدیل موجک ونوفه زدایی موجکی.....66
1–5–6–3 تبدیل موجک پیوسته.....68
2–5–6–3 تبدیل موجک گسسته (DWT).....70

3–6–5–3 نوفه زدایی در پایه های موجک.....72
3–6–5–4 روش ForWaRD.....74

فصل چهارم

شبیه سازی مدل و

4–1 شبیه سازی نشت.....77
4-2 شبیه سازی فیبر.....88

فصل پنجم

نتیجه گیری.....99

پیوست ها

پیوست الف.....101
منابع.....105

فهرست شکل ها

شکل (3–1) نمودار توان نور پراکنده شده بر حسب طول موج.....27
شکل (3–2) نمودار ترازهای انرژی و پراکندگی ها.....28
شکل (3–3) تابش نور فرودی با میدان E به یک تک مولکول.....29

شکل (3–4) اثر رامان القایی.....31
شکل (3–5) نمودار پذیرفتاری رامان برحسب Ω 34
شکل (3-6) پراکندگی استوکس رامان.....37
شکل (3–7) منحنی بهره رامان برای فیبر های نوری از جنس سیلیکا.....41
شکل (3–8) تقویت پمپ بوسیله ی یک پمپ پیشرونده.....42
شکل (3–9) نمودار توان دریافتی ناشی از پراکندگی رامان بر حسب فاصله.....44
شکل (3–10) نور فرودی با شدت I_0 بر یک مولکول.....44
شکل (3–11) یک سیستم حسگر توزیعی فیبر نوری.....50
شکل(3–12) حسگرها با اثرهای غیرخطی.....51
شکل (3–13) طرح شماتیک حسگر فیبر نوری با استفاده از اثر رامان القایی.....54
شکل (3–14) حرکت پالس و توان پمپ بازگشت سیگنال تقویت بوسیله ی پمپ.....54
شکل (3–15) طرح یک سیستم دارای ورودی و خروجی همراه با نوفه.....63
شکل (3–16) مقایسه‌ی یک موج سینوسی و یک موجک.....66
شکل (3–17) تبدبل فوریه و تبدیل موجک یک سیگنال.....67
شکل (3–18) جعبه های هایزنبرگ برای دو موجک $\psi_{u,s}$ و ψ_{u_0,s_0} 69
شکل (4–1) طرح شماتیک مدل برای نفوذ نفت.....77
شکل (4–2) برش عمودی از خاک.....78
شکل (4–3) توزیع دما برای حالت اول پس از 10 ثانیه.....79
شکل (4–4) توزیع دما برای حالت اول پس از 20 ثانیه.....80
شکل (4–5) توزیع دما برای حالت اول پس از 30 ثانیه.....80
شکل (4–6) توزیع دما برای حالت اول پس از 40 ثانیه.....81

شکل (4–7) توزیع دما برای حالت اول پس از 50 ثانیه.....81
شکل (4–8) توزیع دما برای حالت دوم پس از 400 ثانیه.....82
شکل (4–9) توزیع دما برای حالت دوم پس از 800 ثانیه.....82
شکل (4–10) توزیع دما برای حالت دوم پس از 1200 ثانیه.....83
شکل (4–11) توزیع دما برای حالت دوم پس از 1600 ثانیه.....83
شکل (4–12) توزیع دما برای حالت سوم پس از 10 ثانیه.....84
شکل (4–13) توزیع دما برای حالت سوم پس از 20 ثانیه.....84
شکل (4–14) توزیع دما برای حالت سوم پس از 30 ثانیه.....85
شکل (4–15) توزیع دما برای حالت سوم پس از 40 ثانیه.....85
شکل (4–16) توزیع دما برای حالت سوم پس از 50 ثانیه.....86
شکل (4–17) توزیع دما برای حالت چهارم پس از 400 ثانیه.....87
شکل (4–18) توزیع دما برای حالت چهارم پس از 800 ثانیه.....87
شکل (4–19) توزیع دما برای حالت چهارم پس از 1200 ثانیه.....88
شکل (4–20) توزیع دما برای حالت چهارم پس از 1600 ثانیه.....88
شکل(4–21) پاسخ سیستم حسگر دارای دو قله‌ی نزدیک به هم در فاصله‌ی 5 کیلومتری.....90
شکل(4–22) بزرگنمایی شکل (4–20) در محل قله ها.....90
شکل(4–23) پروفایل پالس لیزر با توان 70میلی وات و پهنای 1/5 میکرو ثانیه.....91
شکل(4–24)کانولوشن پالس فرودی و پاسخ سیستم.....92
شکل(5–25) کانولوش پالس فرودی و پاسخ سیستم در حضور نوفه.....92
شکل(4–26) پاسخ سیستم پس از انجام عملیات دی‌کانولوشن.....93
شکل (4–27) دیکانولوشن و نوفه زدایی به روشTFoRD با حد آستانه‌ی $\lambda = 0.01$.....93

شکل(4–28) دیکانولوشن و نوفه زدایی به روش TFoRD با حد آستانه‌ی $\lambda = 0.1$.....94

شکل(5– 29) دیکانولوشن و نوفه زدایی به روش TFoRD با حد آستانه‌ی $\lambda = 1$ 94

شکل(4–30) روش ForWaRD با صافی تیخونوف و موجک Dmey3.....95

شکل(4–31) روش ForWaRD با صافی تیخونوف و موجک Symlet2 96

شکل(4–32) روش ForWaRD با صافی تیخونوف با

حد آستانه‌ی بالاتر ($\lambda = 0.1$) و موجک Symlet2 96

شکل(4– 33) پاسخ سیستم پس از استفاده از روش نوفه زدایی ForWaRD.....97

فهرست جدول ها

جدول (3– 1) سطح مقطع پراکندگی برای GeO_2 و SiO_2

در طول موج های مختلف.....48

جدول (4–1) مشخصات مواد به کار رفته در مدل.....79

جدول (4–2) پارامتر های شبیه سازی و مشخصات سیستم مورد بررسی.....89

فصل اول

مقدمه

امروزه استفاده از مواد نفتی و محصولات آن به طرز چشم گیری افزایش یافته است، بطوریکه تنها اروپا به بزرگترین مصرف کننده این مواد که یک سوم کل کالاهای نفتی جهان می باشد تبدیل شده است.

نفت را می توان از طریق راه های متفاوتی همچون کشتی ها، تریلرهای تانکردار و خطوط لوله نفت به اقصی نقاط جهان منتقل کرد. با وجود تمامی احتیاط های ممکن باز هم همیشه امکان بروز حوادثی چون تصادم کشتی ها، تریلرها و یا فرسودگی لوله های نفتی و نشت نفت از آنها وجود دارد، که علاوه بر خسارت های تجاری وصنعتی، خسارت های جبران ناپذیری نیز به محیط زیست وارد می کند.

مهمترین این خسارتهای زیست محیطی عبارتند از: تخریب خاک، آب های زیرزمینی، آب-های سطحی و اکوسیستم های وابسته به آنها و همچنین تولید هیدروکربن های حل نشدنی در آب[1].

به منظور کاهش این حوادث و زمینه سازی یک عملیات امدادی موثر، وجود روش های بازبینی قابل اطمینان و اطلاعات جامع به روز شده ضروری است.

دریافت اطلاعات از راه دور[1] یک راه اصلی برای واکنش موثر به این اتفاقات ناخواسته می باشد. امروزه تجهیزات جدید دریافت اطلاعات از راه دور یک ابزار قوی در جلوگیری از این حوادث ناگوار و انجام عملیات امدادی برای حفاظت محیط زیست بوجود آورده اند.

حسگرهای معمول عبارتند از: دوربین های مادون قرمز، حسگرهای فیبر نوری، سیستم های فرابنفش و مادون قرمز، رادیومترهای میکرو موج، لیزرهای فلوئورسانس، سیستم های رادار و حسگرهای ماهواره ای[2].

ایران یکی از نفت خیزترین کشورهای جهان می باشد و به تبع آن در نواحی جنوب غربی کشور چاه ها و پالایشگاه های نفتی بسیاری وجود دارد که مستلزم ایجاد خطوط لوله نفتی برای انتقال این نفت از محل استخراج تا پالایشگاه می باشد. بنابراین حفاظت و بازدید این خطوط یکی از مسائل ضروری در جهت صرفه جویی های اقتصادی و حفظ سلامتی محیط زیست می باشد. روش پیشنهادی در این پایان نامه برای بازبینی خطوط، استفاده از حسگرهای فیبر نوری می باشد.

پس از اختراع لیزر در سال 1960 میلادی، نظریه‌ی بکارگیری فیبر نوری به منظور انتقال اطلاعات شکل گرفت[3]. تاثیر بعضی پارامترهای محیطی روی سیگنال‌های ارسالی در فیبر ایده‌ی استفاده از فیبر نوری به عنوان حسگر را شکل داد[4]. حسگرهای الکتریکی به علت دقت و سرعت نسبتاً بالا و قابلیت حس کردن پارامترهای مختلف تا کنون، بسیار رایج و کاربردی بوده‌اند[5]. اما با پیشرفت دانش جدید فوتونیک و بهبود حسگرهای نوری، این حسگرها جایگاه ویژه‌ای در صنعت و تکنولوژی پیدا کرده‌اند.

اصولا ادوات نوری ابزاری هستند که با مواد دی‌الکتریک ساخته می‌شوند که کنش پذیری شیمیایی آن‌ها نسبت به ادوات الکتریکی مشابه بسیار کمتر است[6]. فیبر نوری به عنوان یک حسگر دارای مزایای بسیاری می‌باشد که باعث شده به یک تکنیک ایده‌آل و کاربردی تبدیل شود. از جمله مزایای استفاده از حسگرهای فیبر نوری عبارتند از[5]:

[1] Remote sensing

- به علت استفاده از فوتون به جای الکترون در این نوع حسگرها عملاً حساسیت و دقت کار نسبت به سنسورهای الکتریکی بالا می‌رود.

- این حسگرها در مقابل دما یا رطوبت مقاوم هستند و اثرات زیست محیطی مخرب ندارند.

- این قابلیت را دارا هستند که می‌توانند همزمان چند پارامتر مختلف فیزیکی را اندازه گیری کنند.

- بر خلاف حسگرهای الکتریکی که بیشتر بصورت نقطه‌ای حس می‌کنند، یک حسگر فیبر نوری می‌تواند بصورت توزیع شده[1] چندین نقطه را در کمترین زمان نظارت کند[7].

یکی از علومی که امروزه حسگرهای فیبر نوری به کمک آن شتافته است علم مهندسی سازه است. قرن بیستم قرن سازه‌های هوشمند می‌باشد یعنی سازه هایی که غیر از عملکرد ذاتی خود قابلیت بررسی وضعیت پیکره‌ی خود را نیز دارند[5]. به مجموعه اعمالی که به‌منظور بدست آوردن اطلاعات صحیح، دقیق و به‌موقع در مورد شرایط و عملکرد یک سازه انجام می‌شود نظارت بر سلامت سازه یا SHM[2] گویند[8]. پارامترهایی که درطی این عملیات بیشتر مورد توجه می‌باشند عبارتند از فشار، دما، تنش و کرنش، جابجایی، رطوبت و نشت. حسگرهای فیبر نوری این قابلیت را دارا هستند که تمام پارامترهای فوق را اندازه گیری کنند. پارامتری که در این پایان‌نامه از آن به عنوان فاکتور حس شونده استفاده شده است، پارامتر دما می‌باشد که دارای کاربرد زیادی در پالایشگاه‌ها و کارخانجات و خطوط انتقال نیرو می‌باشد.

استفاده از اثر رامان[3] در اندازه گیری توزیعی درجه حرارت بوسیله‌ی فیبر نوری (DTS[4]) از آغاز دهه‌ی 1980 میلادی در دانشگاه ساوزهمپتون[5] انگلیس توسط هارتوگ و روگرز[6] شروع شد[9]. اساس کار این تکنیک با استفاده از فیبر نوری در سال 1994 توسط هارتینگ[7] طی مقاله‌ای منتشر شد بدین صورت که یک پالس لیزر درون یک فیبر نوری بعنوان یک حسگر، تزویج

[1] Distributed
[2] Structural Health Monitoring
[3] CV Raman
[4] Distributed Temperature Sensor
[5] South Hampton
[6] Rogers
[7] Harting

می شود، در طول حرکت پالس درون فیبر، نور در همه‌ی نقاط در طول فیبر پراکنده می‌شود. پراکندگی توسط عناصر و پدیده های مختلفی صورت می‌گیرد مانند تغییرات چگالی فیبر، مولکولها و حجم های موجود درون فیبر. اثر رامان یک اثر غیر خطی است که از بر هم کنش نور فرودی با تراز های ارتعاشی مولکولها صورت می‌گیرد. اثرات دمایی بر ارتعاشات مولکولی اثر می‌گذارد در نتیجه اثر رامان دارای وابستگی دمایی است. از همین خاصیت برای اندازه‌گیری دما در طول فیبر می‌توان استفاده کرد [11و10].

پراکندگی رامان دارای جابه‌جایی فرکانسی در نور پراکنده شده است. مولفه‌هایی از نور پراکنده شده که دارای فرکانس بالاتری از نور فرودی هستند را آنتی استوکس[1] و آن‌هایی که فرکانس کمتری دارند استوکس[2] گویند. پراکندگی استوکس دارای شدت بیشتری می‌باشد اما پراکندگی آنتی استوکس وابستگی دمایی بیشتری از خود نشان می دهد[10]. در فصل سوم به توضیحاتی راجع به فیبر نوری و اثرات غیر خطی در فیبر وچگونگی این نوع پراکندگی می-پردازیم.

مزیت استفاده از این روش این است که هر فیبر نوری نصب شده را می توان به‌عنوان یک حسگر توزیعی دما استفاده کرد و احتیاج به ساخت نوع خاصی از فیبر نمی باشد. احتیاج شدید سیستم‌های صنعتی و تجاری به چنین حسگرهایی باعث شد که این مدل حسگر به‌شدت پیشرفت کرده و بهبود پیدا کند[12].

در اکثر تجربیات آزمایشگاهی و اکثر حسگرهای تجاری از این دست، از لیزرهای نانوثانیه و توان بالا استفاده شده است. به عنوان مثال در یک کار عملی از یک لیزر آرگون با طول پالس چندین نانوثانیه و قدرت پیک 5 وات استفاده شده است که در آخر، دقتی در حدود 3 متر و اندازه‌گیری دمایی در حدود یک درجه‌ی سانتیگراد را می‌دهد که از لحاظ عملی برای حس کردن در فواصل طولانی دقت قابل قبولی می‌باشد[13]. البته اخیرا استفاده از روش شمارش

[1] AntiStokes
[2] Stokes

فوتون[1]، دقت فضایی کار را در حد سانتی متر و دقت دمایی را تا 0/5 درجه‌ی سانتیگراد بالا برده است[14].

اما استفاده از روش بالا و روش هایی از این نوع، احتیاج به تجهیزات لیزری و آشکارسازهای پیشرفته دارد. در این پایان‌نامه مدلی برای این نوع حسگرها ارائه شده است که از لیزرهای تجاری معمولی در حد میکرو ثانیه برای تولید پالس استفاده می کند[15].

[1] Photon Counting

فصل دوم

نفوذ جرم و انرژی

در یک محیط متخلخل

2–1مقدمه

یک تحلیل فیزیکی از فرایندهای نفوذ جرم و حرارت در خاک بوسیله استخراج معادلات حاکم و اعمال شرایط اولیه و مرزی از قواعد کلی و بنیادی امکان پذیر است که موضوع مورد بحث این فصل می باشد[16]. معادلات دیفرانسیل با مشتقات جزیی کوپل شده حاکم بر توزیع جرم وحرارت در محیط متخلخل بوسیله بکاربردن معادله پایستگی در مقیاس ماکروسکوپیک ارائه می شود، که بصورت زیر می باشد:

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{q} = -\frac{\partial \Sigma}{\partial t} \qquad (1-2)$$

که در آن $\sum$ اندازه ماده (مثلاً جرم یا انتالپی) در واحد حجم ، و $\vec{q}$ شار میانگین ماده می باشد.

عبارات بیان کننده شار و ذخیره ماده در محیط بصورت توابعی از متغیرهای وابسته مناسب ارائه شده است. معادلات پایستگی جرم و حرارت با جایگذاری این عبارات در معادله (2-1) بدست خواهند آمد،که در نهایت منجر به تشکیل معادله نشت خواهد شد. دو زوج از این متغیرهای وابسته (ψ, T) و (θ, T) می باشند که ψ , θ و T به ترتیب بیانگر ارتفاع ماتریکی، رطوبت موجود در خاک و دما هستند. در این فصل مطالعات آقایان فیلیپ[1] و دو وریس[1] و همچنین چندین ساده

[1] Philip