# به نام خداوند علیم و عالم

دانشکده فیزیک

بخش فیزیک

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

رشته فیزیک گرایش ژئودینامیک

# بررسی امکان سنجی پیش بینی زلزله با استفاده از فیبر نوری مبتنی بر توری براگ در منطقه کوهبنان

مولف:

محمدرضا توکلی چترودی

استاد راهنما:

دکتر حسین امیری خانمکانی

استاد مشاور:

دکتر مجید نعمتی

بهمن ماه ۱۳۹۳

بسمه تعالی

این پایان نامه
به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به
گروه فیزیک
دانشکده فیزیک
دانشگاه شهید باهنر کرمان
تسلیم شده است و هیچ گونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمی شود

دانشجو : محمد رضا توکلی چترودی

استاد راهنما : دکتر حسین امیری خامکانی

استاد مشاور : دکتر مجید نعمتی

داور ۱ : دکتر سید جلیل الدین فاطمی

داور ۲ : دکتر حسین روح الامینی

نماینده تحصیلات تکمیلی : دکتر محمدرضا مهدی زاده

معاون آموزشی و پژوهشی دانشکده: خانم دکتر فریده شجاعی

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر است.

تقدیم به:

ساحت مقدّس امام زمان (عجّل اللّه تعالی فی فرجه شریف)

**سپاس‌گزاری:**

ابتدا از خداوند متعال سپاس‌گزارم که این توفیق را به بنده حقیر داد، تا بتوانم بر روی این موضوع بسیار با ارزش کار کنم و به لطف و کمک‌های بی انتهایش این پروژه را به پایان برسانم زیرا هر چه هستم و هر چه دارم از اوست و سپس از استاد گرامی، جناب آقای دکتر حسین امیری و آقای دکتر نعمتی سپاس‌گزارم که با راهنمایی در این پایان نامه باعث به وجود آمدن ایده‌هایی که در طول این پروژه به کار رفته، شده‌اند و همچنین از دوست خوبم آقای شهراد که در بدست آوردن بعضی از مقالات کمکم کردند، تشکر می‌کنم و در نهایت از مادرم، همه هستیَم و پدر مرحومم، همه افتخارم که بدون دعای آن ها هیچ بودم، هستم و خواهم بود، نهایت قدردانی و تشکر را دارم.

## چکیده

پیش بینی زلزله در تاریخ به عنوان یک آرمان جهت کاهش تلفات، باعث به‌کارگیری روش‌ها و پارامترهای مختلف شده است. در این پژوهش، با توجه به ویژگی فیبر نوری و حساسیتی که نسبت به پارامتر هایی از قبیل اثرات فشار دارد، به عنوان راهکاری جدید جهت استفاده از آن به عنوان پیش نشانگر لرزه‌ای در ساختار گسلی در سطح زمین مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از نمودار گسیختگی کولمب، تنش‌های قبل از زمین لرزه با بکارگیری دایره موهر با روشی خاص تخمین زده شده است. با توجه به اینکه این تنش‌ها مربوط به کانون زمین لرزه در اعماق زمین می‌باشند، ابتدا لازم است چگونگی تغییرات تنش اطراف کانون به طرف سطح زمین ( محل بکار گیری فیبر ) مورد بررسی قرار گیرد. سپس با توجه به آستانه حساسیت فیبرهای نوری، فیبرنوری مبتنی بر توری براگ که فیبری پرکاربرد، در دسترس و با ساختار ساده می‌باشد، انتخاب شده و با اعمال تنش‌های تجمعی تدریجی و سطحی ناشی از چند زلزله بر این نوع فیبر، تغییرات در طول موج نور خروجی محاسبه شده است. با توجه به فعالیت گسل کوهبنان واقع در شمال استان کرمان، تنش‌های کولمب ناشی از چند زلزله‌ی این منطقه تقریباً از ۹ سال قبل تا ۱۰ روز مانده به زمان زلزله تخمین زده و مورد استفاده قرار گرفته شد. با اعمال تنش‌هایی که بتدریج در نواحی سطحی گسل تجمع می‌یابد تغییرات در طول موج نور خروجی محاسبه شده است. مشاهده می‌شود از چندماه قبل از زلزله جابه جایی طول موج نور خروجی از فیبرنوری قابل مشاهده در رصدکردن می‌باشد.



**کلید واژه ها:**

زلزله، تنش، فیبرنوری مبتنی بر توری براگ، پیش بینی زلزله، پیش نشانگری.

## فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه
**فصل اول: مقدمه..... ۱**
مقدمه..... ۲
**فصل دوم: تعدادی از کاربردهای فیبرنوری در زمینه‌های مختلف و طراحی نوع پوشش فیبرنوری مبتنی بر توری براگ..... ۵**
مقدمه..... ۶
۲-۱ کاربردهای بعضی از انواع فیبرنوری در زمینه‌های مختلف..... ۶
۲-۱-۱ فیبرنوری مقیاس بزرگ کابل لرزه‌ای زیر اقیانوس..... ۶
۲-۱-۲ بازتاب سنج نوری در قلمرو زمان..... ۷
۲-۱-۳ تکنیک‌های سنجش با استفاده از پراکندگی بریلوین..... ۹
۲-۱-۴ الگوی فیبرنوری کرنش استرین رزت..... ۱۴
۲-۱-۵ سنسور شبکه براگ فیبری در سازه‌های عمرانی..... ۱۶
۲-۱-۶ شبکه براگ فیبرنوری..... ۱۸
۲-۲ طراحی و ساخت پوشش فیبرنوریِ مبتنی بر توری براگ..... ۲۴
۲-۲-۱ فرمول بندی ساخت توری براگ فیبر نوری بر حسب طول موج اشعه ماوراء بنفش..... ۲۴
۲-۲-۲ چگونگی کارکرد فیبرنوری بدون اختلال..... ۲۵
۲-۲-۳ چگونگی کارکرد فیبرنوری با اختلال..... ۲۶
۲-۲-۴ اختلالات خارجی..... ۲۸
۲-۲-۴-۱ پروژه اول..... ۲۸
۲-۲-۴-۲ پروژه دوم..... ۲۹
۲-۲-۴-۳ پروژه سوم..... ۳۲
۲-۲-۴-۴ پروژه چهارم..... ۳۶
۲-۲-۴-۵ پروژه پنجم..... ۳۸
۲-۳ رابطه بین اختلاف راه و اختلاف فاز..... ۴۰
**فصل سوم: تنش و رسم دایره موهر..... ۴۲**
مقدمه..... ۴۳

۳-۱ تنش ..... ۴۳
۳-۱-۱ تنش تک محوری ..... ۴۴
۳-۱-۲ تنش دو بعدی ..... ۴۶
۳-۱-۳ تنش دو بعدی در حالت کلی ..... ۴۸
۳-۱-۴ تنش سه بعدی ..... ۴۹
۳-۲ دایره موهر ..... ۵۰
۳-۲-۱ دایره موهر تنش ..... ۵۱
۳-۲-۲ دوایر موهر برای تنش‌های دو بعدی ..... ۵۳
۳-۲-۳ دایره موهر در ۳ بعد ..... ۵۵
۳-۳ چگونگی پیداکردن تنش‌های اصلی ..... ۵۶
۳-۴ تنش سه محوری ..... ۵۸
۳-۵ معیار گسیختگی ..... ۵۹
**فصل چهارم: محاسبه تنش قبل و حین زمین لرزه در منطقه کوهبنان ..... ۶۱**
مقدمه ..... ۶۲
۴-۱ زمین لرزه ال لا اکوئیلا ..... ۶۲
۴-۲ محاسبه تنش‌های اصلی در زلزله ال لا اکوئیلا و رسم دایره موهر ..... ۶۳
۴-۳ محاسبه میزان تنش‌ها (برشی و نرمال) لحظه گسیختگی ..... ۶۷
۴-۴ محاسبه شیب صفحه شکسته شده ..... ۶۸
۴-۵ مقایسه منطقه ال لا اکوئیلا با منطقه کوهبنان و محاسبه تنش‌ها دراین منطقه در لحظه زلزله ..... ۶۹
۴-۶ تنش کولمب ..... ۷۱
۴-۶-۱ محاسبه تنش کولمب در مناطق خارج از ایران ..... ۷۲
۴-۶-۲ محاسبه تنش کولمب در مناطق داخل ایران ..... ۷۷
۴-۷ اهمیت نتایج محاسبه تنش کولمب مورد استفاده برای نصب فیبرنوری ..... ۷۹
۴-۸ محاسبه افت تنش در منطقه کوهبنان ..... ۸۰
۴-۹ محاسبه تنش کولمب اولیه و نهایی و مقایسه این دو ..... ۸۲
۴-۱۰ محاسبه تنش کولمب قبل از زلزله ..... ۸۳
۴-۱۰-۱ نمونه محاسبات برای تنش کولمب قبل از زلزله ۱۹۳۳ ..... ۸۳

۴-۱۰-۲ محاسبه تنش کولمب لحظه به لحظه قبل از زلزله در حالت کلی..... ۸۰
۴-۱۱ پیدا کردن رابطه‌ای میان تنش کولمب و زمان ..... ۹۱
۴-۱۱-۱ معادله‌ای به صورت منحنی درجه دو ..... ۹۲
۴-۱۱-۲ معادله‌ای به صورت تابع نمایی..... ۹۲
**فصل پنجم: اعمال تنش‌های حاصل بر روی فیبرنوری مبتنی بر توری براگ..... ۹۳**
**فصل ششم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات..... ۱۰۰**
پیوست ..... ۱۰۴
پیوست الف..... ۱۰۵
مراجع ..... ۱۰۶

# فصل اول

## مقدمه

## ۱- مقدمه

زمین لرزه‌ها اغلب با یکسری نشانه‌های پیش از رویداد همراهند که اصطلاحاً به آن‌ها پیش نشانگرهای زمین لرزه گفته می شود. بخشی از این پیش نشانگرها ماهیتی بسیار پیچیده داشته که با استفاده از تکنیک ها و تجهیزات بسیار پیشرفته قابل شناسایی می باشند. گروه دیگری از این‌ها با روش‌های ساده‌تر قابل اندازه‌گیری بوده و می‌توانند به عنوان هشداری برای آگاه کردن و نجات مردم نیز استفاده شوند. تاکنون ده‌ها پیش نشانگر مختلف زمین لرزه شناسایی شده‌اند و با اینکه ارتباط بسیاری از این پیش نشانگرها با زلزله مشخص شده است، چون تکنیک های استفاده از آن‌ها هنوز در مرحله‌ی تحقیقاتی است نمی‌توان با استناد به وقوع یا عدم وقوع آن ها در یک منطقه با قاطعیت درباره احتمال وقوع زلزله اظهار نظر کرد.

علی رغم پیشرفت‌های صورت گرفته، پیچیدگی پدیده‌های زمین ساختی به قدری گسترده است که بشر را در پیش بینی وقوع زلزله ناتوان کرده است. باید گفت ماهیت پیش نشانگرهای زلزله به صورتی است که همه‌ی آن ها در تمامی زمین لرزه‌ها وجود ندارند. لذا نمی‌توان با تمرکز بر یک نشانگر، وقوع یا عدم وقوع زمین لرزه را در یک منطقه یا محدوده زمانی مشخص پیش بینی کرد. با این حال با توجه به اهمیت بحث پیش بینی زمین لرزه در کاهش مخاطرات آن به ویژه در کشورهای لرزه خیزی نظیر ایران نباید در برابر این مسأله ساده برخورد کرد و از تحقیق درباره پیش نشانگرها غافل شد. چه بسا با مطالعه‌ی همزمان چند پیش نشانگر بتوان به تکنیک قابل قبولی برای پیش بینی زلزله دست یافت.

تاکنون ده‌ها پیش‌نشانگر مختلف برای زمین لرزه شناسایی شده که مهمترین آن‌ها پیش‌نشانگرهای آب‌شناختی، لرزه شناختی، تغییرات مقاومت الکتریکی زمین، الگوی اتساع پذیری پوسته زمین، ابرهای یونی، پیش نشانگرهای نوری، الکترومغناطیسی و بالاخره پیش نشانگرهای زیست شناختی می‌باشند. با وجود همه این پیش‌نشانگرها و همچنین پیشرفت وسایل اندازه‌گیری آن‌ها هنوز در پیش بینی زلزله ناتوان می‌باشند.

برخی از نشانه‌ها از قبیل تشکیل ابرهای زلزله، وجود گاز رادون در قنات‌ها و غیره، هنگام رخ داده زلزله پدیدار می شوند (اما نه در تمامی زلزله‌ها). یکی از عواملی که در حین زلزله رخ می دهد، واتنیدگی و اعمال تنش به پوسته می باشد. این دو ویژگی در حین رخداد زمین لرزه وجود دارد.

در این میان فیبر نوری حساسیت بالایی نسبت به تغییر پارامترهای فیزیکی محیط اطرفش دارد. با استفاده از این حساسیت می‌توان میزان کرنشی را که در سازه‌های عمرانی ایجاد می‌شود مشخص کرد. سازه‌های عمرانی، پل‌ها و ساختمان‌ها می‌باشند. در مورد پل‌ها می‌توان پل وستون واقع در ایتالیا را مثال زد. از دیگرکاربردهای اخیر، محاسبه میزان کرنش پوسته زمین نزدیک سواحل را می‌توان نام برد. به عنوان نمونه یکی از این سواحل در منطقه فوکوشیما می‌باشد. ایده‌ای نیز در جهت تلاش برای استفاده از فیبرنوری برای آشکارسازی گاز رادون در خاک به عنوان پیش نشانگر زلزله مطرح شده است [۱].

در این پژوهش سعی شده است روشی ارائه شود که به عنوان پیش‌نشان‌گری زلزله کارایی بسیار ایده آلی دارد. به این ترتیب از بعضی از کاربردهای فیبرنوری، در زمینه‌های خاص جهت پیش‌گیری از سونامی در اثر زلزله و پیدا کردن ذخایر نفتی موجود در زیر دریا [۲]، کنترل خطوط لوله شامل مواد نفتی که خطری برای محیط زیست است، برای جلوگیری از هدر رفتن مواد نفتی و گازی [۳]، جلوگیری از رانش زمین (با کمک GPS) و جلوگیری از ویرانی دهکده‌هایی که در معرض رانش قرار می‌گیرند [۴]، برای کنترل سازه‌هایی از قبیل ساختمان‌ها و پل‌ها با توجه به کرنشی که در آن‌ها به وجود می‌آید [۵ و ۶] و از جمله بررسی کرنشی که در اثر جزر و مد آب دریا در زمین نزدیک سواحل به وجود آمده و پس لزره‌هایی که سبب کرنش می‌شوند [۷ و ۸ و ۹] می‌توان بهره کافی را برد.

چون فیبرنوری بسیار ظریف می‌باشد طی پنج پروژه (البته اولین پروژه فیبر نوری بدون پوشش می‌باشد) انواع طراحی برای فیبرنوری با توجه به حساسیتی که نسبت به فشار دارد، صورت گرفته است. در نهایت مناسبترین فیبرنوری برای کاربرد در زمینه‌ی پیش نشانگری زلزله با توجه به تنش های اعمالی بدست آمده در فصل چهارم انتخاب شده است.

پس ازآشنایی با فیبرنوری، به تعریف تنش، تانسور تنش [۱۰] و چگونگی بیان کردن آن‌ها توسط نمودار موهر که اندازه تنش وارده بر هر صفحه با زاویه‌ی خاص در ابعاد گوناگون (از یک تا سه بعد) را نشان می‌دهد، پرداخته شده است. همچنین تقسیم بندی تنش‌ها به تنش برشی و تنش نرمال و نشان دادن این تنش‌ها بر روی نمودار موهر توضیح داده شده است[۱۱].

پس از آشنایی با مسیرهای تنش و رسم آن‌ها با استفاده از دوایر موهر، زلزله‌ای در منطقه‌ای واقع در ایتالیا بررسی شده است که در این منطقه تنش‌های لحظه گسیختگی (چه برشی چه نرمال) با رسم دوایر تنش و پوش گسیختگی کولمب بدست آمده است[۱۲]. سپس با مقایسه‌ی این منطقه با منطقه‌ی

کوهبنان برای هر زلزله‌ای که بزرگی آن بالای پنج ریشتر است، از سال ۱۹۱۱ تا ۲۰۰۵ تنش های لحظه‌ی گسیختگی محاسبه شده و از مقادیر این تنش‌ها و اختلاف سال‌های بین رخدادها میانگین‌گیری شده است. اهمیت این محاسبات را می‌توان بر روی نمودار گسیختگی کولمب مشخص و تنش تجمعی قبل از زلزله را محاسبه کرد. در نهایت با استفاده از داده‌های محاسبه شده رابطه‌ای برای هر لحظه تنش بدست آمده است. طبق این رابطه به آسانی می‌توان در هر لحظه، میزان تنش اعمالی به پوسته زمین را در منطقه کوهبنان محاسبه کرد. سپس تنش‌هایی را که تقریباً طی ۹ سال به پوسته زمین وارد می‌شود بر روی فیبرنوری اعمال شده است. حال با توجه به رابطه‌های مربوط به حساسیت فیبرنوری نسبت به فشار می‌توان نتیجه گرفت که طول موج براگ (معمولاً ۱۵۵۰ نانومتر برای تمامی فیبر های نوری در نظر گرفته شده) به چه میزان جابه‌جا می‌شود. در جداول علاوه بر تنش‌های کولمب بدست آمده در طی تقریباً ۹ سال، ردیف‌هایی با تنش‌های ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. چون در بعضی از زلزله‌ها تنش‌هایی با این مقادیر و یا حتّی بیشتر وجود دارد.

# فصل دوم

# نگاهی بر کاربرد فیبرنوری در زمینه‌های مختلف و طراحی

# نوع پوشش فیبرنوری مبتنی بر توری براگ

**مقدمه**

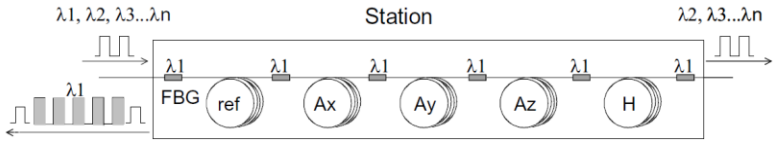
در این فصل سعی شده است که بعضی از کاربردهای اخیر فیبرنوری در زمینه‌های خاص از جمله بررسی کرنشی که در اثر جزر و مد آب دریا در زمین‌های نزدیک سواحل به وجود آمده، پس‌لزره‌هایی که باعث کرنش می‌شوند، کنترل خطوط لوله شامل مواد نفتی که خطری برای محیط زیست است، کنترل سازه‌هایی از قبیل ساختمان‌ها و پل‌ها، با توجه به کرنشی که در آن‌ها به وجود می‌آید، جلوگیری از رانش زمین و غیره مورد استفاده قرار گیرد. سپس طی پنج پروژه انواع طراحی ساخت و چگونگی کارکرد فیبرنوری منبی بر حساسیت آن نسبت به فشار توضیح داده شده است. در نهایت مناسبترین فیبرنوری برای کاربرد در زمینه پیش‌بینی زلزله با توجه به تنش‌های اعمالی بدست‌آمده در فصل سوم آورده شده است.

**۲-۱- کاربردهای بعضی از انواع فیبرنوری در زمینه‌های مختلف**

**۲-۱-۱- فیبرنوری مقیاس بزرگ کابل لرزه‌ای زیر اقیانوس $(OBC)$[1]**

این سیستم بر اساس تداخل‌هایی که منجر به اختلاف طول موج نور یا شدت نور داخل فیبرنوری می‌شود ساخته شده است. این سیستم در کف اقیانوس‌ها برای گرفتن امواج لرزه‌ای به موجب بررسی کشف ذخایر نفتی یا گازی و یا میزان باقی ماندن این ذخایر، استفاده می شود. از جمله استفاده‌های کاربردی این سیستم پیش‌بینی سونامی است که از خاصیت حساس بودن فیبر نوری نسبت به فشار استفاده شده است.

این سیستم به طریقی طراحی می‌شود که یکسری خطوط موازی از کابل‌های نوری تشکیل شده‌اند. بر روی هر یک از این خطوط ۲۰۰۰ ایستگاه وجود دارد که هر ایستگاه مانند شکل (۲-۱) است.



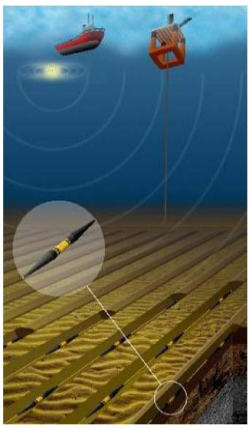

شکل ۲-۱- ساختمان ایستگاه‌های جدا کننده‌ی مؤلفه‌های طول موج [۲].

به اندازه‌ای که طول موج تغییر می‌کند توسط این ایستگاه‌ها به مؤلفه‌ها در راستاهای مختلف و همچنین تأثیری را که پارامترهای مختلف (فشار، واتنیدگی و غیره) می‌گذارند تفکیک می کند. شکل نصب ایستگاه‌ها بر روی فیبرنوری طبق شکل (۲-۲) است.

1- Button Ocean Cable

شکل ۲-۲- کابل‌های نوری نصب شده زیر دریا همراه با ایستگاه [۲].

فاصله هر یک از ایستگاه‌ها بین ۲۰ متر تا ۴۰ متر می‌باشد و هر یک از خطوط فیبرنوری به فاصله ۲۰۰ متر تا ۴۰۰ متر از هم فاصله دارند. اصولاً بین ۳۰ تا ۴۰ کیلومتر مربع سطح کف دریا را پوشش می‌دهند و توسط یک سیم (کابل) به کشتی در سطح دریا یا ایستگاه در سطح دریا طبق شکل (۲-۳) متصل می‌شود[۲].



شکل ۲-۳- طریقه نشاندن واطلاع گرفتن از فیبرهای کار گذاشته کف دریا [۲].

### ۲-۱-۲- بازتاب سنج نوری در قلمرو زمان (دستگاه $OTDR$[1])

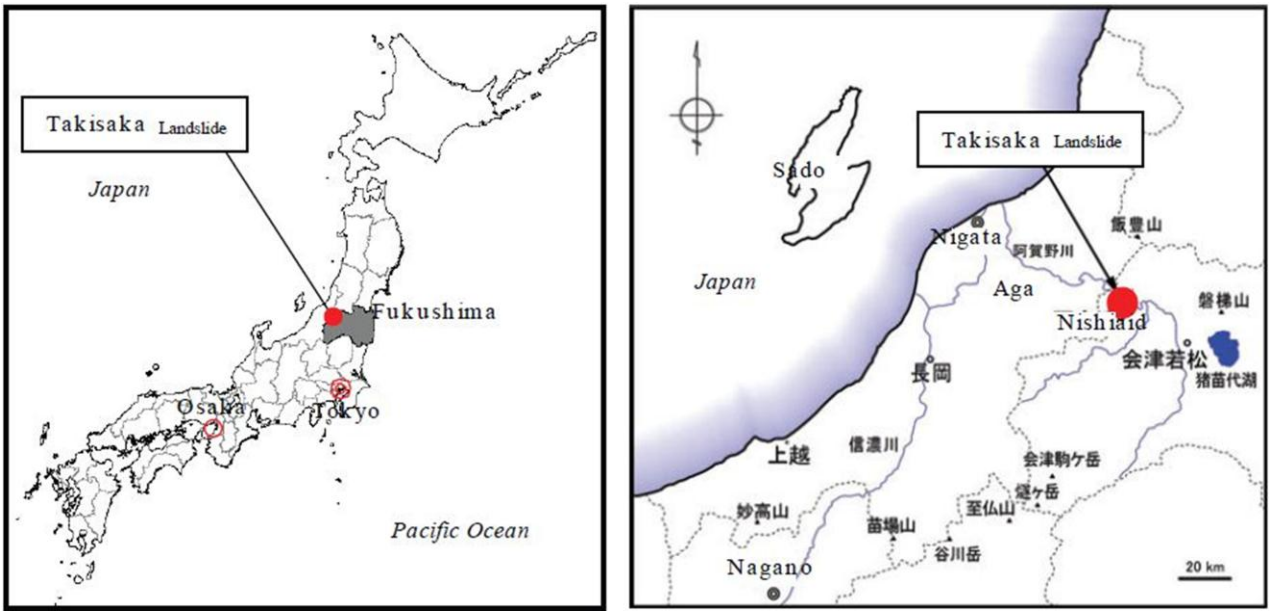
از این نوع فیبرنوری در زمینه‌های مختلف از جمله برای لغزش زمین در منطقه‌ای به نام تاکیساکا[2] واقع در استان فوکوشیما در ژاپن استفاده شده است. این پروژه بین ژاپن و موسسه دی رسرکا[3] واقع در ایتالیا نیز انجام شده است. در این شهر زلزله‌ای در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ}$ شمالی و $139^{\circ}$ شرقی رخ داده است. با استفاده از دستگاه $OTDR$ توانستند لغزشی را که در این زمین لرزه به وجود آمده بود بررسی کنند.

نحوه‌ی کار به این شکل است که منطقه‌ای به طول ۲۱۰۰ متر (جهت شمال به جنوب) و عرض ۱۳۰۰ متر (جهت شرق به غرب) و عمق ۱۴۰ متر می‌باشد در نظر گرفته شده است.

1- Obtical Time Domain reflectometry
2- Takisaka
3- Di Recerca

در کل طبق شکل (۲-۴) حجمی به اندازه $۴/۸ \times ۱۰^{۷}$ متر مکعب نیز به دست می‌آید. طبق شکل (۲-۵) این حجم به دو بلوک شمالی و جنوبی تقسیم شده است. فقط بلوک جنوبی در نظر گرفته می شود. بلوک توکیوا[1] و نوماتا[2]، بلوک نوماتا دارای ۲۵۰ متر طول (جهت شرق به غرب) و ۶۰۰ متر عرض (جهت جنوب به شمال) است و در حال حرکت از شرق به غرب است و بلوک توکیوا که در سمت شمال غربی بلوک نوماتا قرار دارد دارای ۲۰۰ متر طول و ۵۰ متر عرض و در حال حرکت از شمال شرقی به جنوب غربی است.

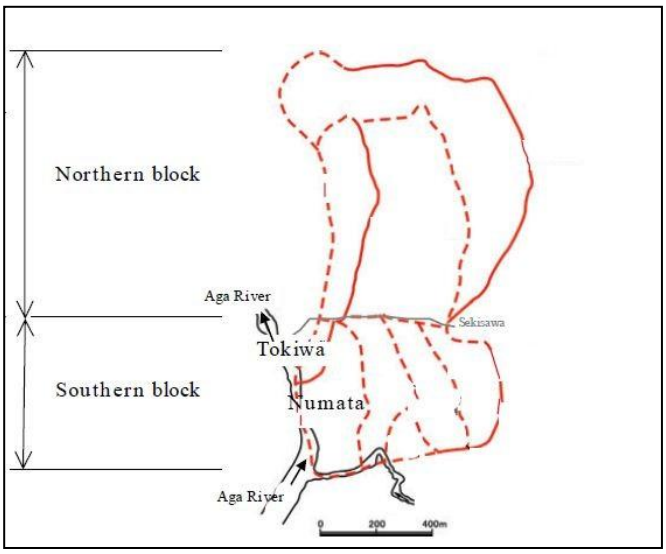
اکنون برای محاسبه‌ی میزان لغزش این بلوک از خاصیت واتنیدگی فیبر استفاده شده است. طبق شکل (۲-۶) می‌توان دستگاه *OTDR* را در منطقه نصب کرد. در نتیجه می‌توان میزان لغزش دو بلوک را محاسبه کرد.



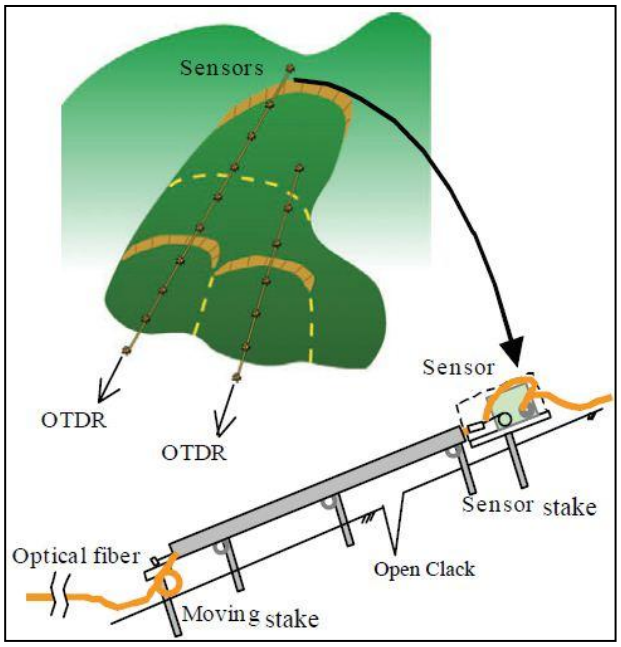

شکل۲- ۴- نقشه‌ی فوکوشیما واقع در ژاپن [۳].

با بزرگ نمایی منطقه (شکل (۲-۴)) و تقسیم بندی آن به بلوک‌ها، به شکل (۲-۵) در می‌آید [۳].

1- Tokyo
2- Nomata




شکل۲-۵- بلوک‌های موجود در اطراف منطقه‌ی فوکوشیما [۳].




شکل۲-۶- طریقه‌ی نصب فیبرنوری [۳].

### ۲-۱-۳- تکنیک های سنجش با استفاده از پراکندگی بریلوین ( $DiTeSt$[1])

خطوط زیرزمینی، خطوط لوله‌ی گاز و در نهایت خطوط عبور کرده از منطقه‌های خطرناک زیست محیطی، همه با عوامل طبیعی مانند رانش زمین یا زلزله مواجه هستند. امکان ویرانی محیط زیست و یا هدر رفتن منابع گذرنده از لوله وجود دارد. این عوامل باعث تغییر در عملکرد

1- Distributed Temperature and Strain monitoring system

خطوط و در نهایت منجر به آسیب، شکست و یا نشت می‌شوند که با عواقب جدی اقتصادی و زیست محیطی همراه هستند. نظارت ساختاری، عملکرد قابل توجهی می‌تواند در بهبود مدیریت خط لوله و ایمنی آن در پی داشته باشد شکل (۲-۷). نظارت وکنترل به طور پیوسته و منظم پارامترهای ساختار و عملکرد خطوط می تواند در این سه مورد کمک کند. ۱. جلوگیری از شکست ۲. تشخیص مشکل و موقعیت آن ۳. اقدام به تعمیر و نگهداری در اسرع وقت.

شکل۲-۷- خطوط لوله گاز [۴].

پارامترهای ساختاری‌ای که باید کنترل شوند عبارتند از کرنش، انحنا و پارامترهای کاربردی تر مثل توزیع دمایی یا نشت گاز می باشند. از آن‌جایی که این خطوط لوله دارای طول‌هایی با چندین کیلومتر هستند نظارت بر آن‌ها یک موضوع است. در این مواقع استفاده از سنسورهای گسسته، زمان سنج‌های کوتاه مدت و یا بلند مدت عملاً غیر ممکن است چرا که نیاز به نصب هزاران سنسور و کابل‌کشی بسیار پیچیده‌ای دارد که هزینه‌ی بالایی را دربر می‌گیرد. از دیگر روش‌ها، نظارت بر اندازه‌گیری جریان در ابتدا و انتهای خطوط می‌باشد که این، وجود نشت را آشکار می‌کند ولی متأسفانه از محل نشت اطلاعی نمی‌دهد. پیشرفت‌های اخیر از توزیع فشار روی فیبرنوری و تکنیک‌های سنجش دما بر اساس پراکندگی بریلوین که یک ابزار مقرون به صرفه است که اجازه کنترل و نظارت را (در حد فواصل کیلومتری) می‌دهد. بنابراین با استفاده از تعداد محدودی از سنسورهای بسیار طولانی برای نظارت بر رفتار ساختاری و عملکردی خطوط زیر زمینی با دقت و قدرت تفکیک فضایی بالایی انجام شده است و همچنین از نظر اقتصادی معقول و به صرفه است.

یکی از خصوصیات فیبرنوری این است که پدیده میرایی خیلی جزئی در آن اتفاق می افتد و این ویژگی باعث می‌شود که در مسافت‌های بسیار طولانی (تا ۲۵ کیلومتر) برای کنترل قابل استفاده باشد. توسعه‌ی یک سیستم حسگر فیبرنوری با استفاده از یک روش شناخته شده به نام $DiTeSt$ (سیستم

مانیتورینگ دما و کرنش توزیع شده) که بر مبنای پراکندگی بریلوین است در حال اجرا می‌باشد. این پراکندگی بریلوین یک ویژگی ذاتی برای انتشار نور در ماده سیلیکون است که در فیبرنوری برای سنجش به کار می‌رود. پراکندگی بریلوین به خوبی در مقابل عوامل خارجی مثل کرنش و دما اثرش را نشان می‌دهد.

نتیجه پراکندگی نور با این عوامل، در فرکانس نور منتشر شده پدیدار می‌شود که این رابطه بین فرکانس نور و عوامل خارجی (کرنش و دما) رابطه‌ای خطی است. در نتیجه نور پراکنده دارای طول موجی متفاوت با نور اصلی است و خروجی آن این نتیجه را دارد که رابطه‌ی مستقیمی بین فشار و درجه‌ی حرارت در فیبر وجود دارد.

اجزای اصلی سیستم DiTest را واحد خواندن و کابل سنسور تشکیل می‌دهد. در طول مسیر (طول کابل) یک سری تقویت کننده قرار می‌دهند که موجب تشدید دامنه موج بریلوین شود و به این ترتیب می‌تواند در طول بیش از ۳۰۰ کیلومتر خط لوله را پوشش دهد. ویژگی‌های DiTest در جدول (۲-۱) خلاصه می‌شود.

اکنون برای طراحی کابل‌نوری برای اینکه از هر نوع عوامل خارجی حفظ شود پوششی به روش سنتی در نظر می‌گیرند. محدوده‌ی دمایی این فیبر DiTest بین ۲۰ تا ۶۰ درجه سلسیوس می‌باشد که برای سنجش دمایی که در این محدوده نباشد نیاز به طراحی پوشش خاصی دارد.

در نهایت برای محاسبه دو پارامتر خارجی به طور همزمان می‌توان فیبر نوری DiTest را مانند شکل‌های (۲-۸) ، (۲-۹) و (۲-۱۰) در نظر گرفت.

جدول ۲-۱- ویژگی‌های فیبرنوری DiteST .

| | |
|---|---|
| محدوده‌ی اندازه گیری | ۳۰ کیلومتر (استاندارد)- ۱۵۰ کیلومتر (حداکثر) |
| تعداد کانال ها | دو عدد (استاندارد) – ۶۰ (حداکثر) |
| دقت مکانی | یک متر در هر پنج کیلومتر و دو متر در هر ۲۵ کیلومتر |
| دقت دمایی | ۰/۱ درجه سلسیوس |
| محدوده‌ی دمایی | ۲۷۰ تا ۵۰۰ درجه سلسیوس |
| دقت واتنیدگی | ۰/۰۰۲ |
| محدوده واتنیدگی | ۱/۲۵- تا ۱/۲۵+ درصد |
| زمان رسید | دو دقیقه |