

تعیین شدت آسیب‌پذیری لرزه‌ای سواحل جنوبی دریای خزر

همایون خوشروان^۱، جواد ملک^۲، حامد بریمانی^۳، احمد هاشمی^۴

۱- عضو هیئت علمی مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر

۲- عضو هیئت علمی موسسه تحقیقات آب، وزارت نیرو

۳- دانشجوی دکتری رشته عمران، خاک و پی، دانشگاه ایروان، ارمنستان

۴- کارشناس پژوهشی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

چکیده

این پژوهش به هدف تعیین میزان ریسک آسیب‌پذیری لرزه‌ای بخش جنوبی دریای خزر در محدوده استان‌های ساحلی شمال کشور انجام گرفت. با مطالعه جانمایی جغرافیایی سیستم خطواره‌ای گسلی و انطباق چشمه‌های لرزه‌زا بر روی آنها گسل‌های فعال منطقه مشخص گردید. گسل‌های مازندران، البرز، بادله، لاهیجان، لاریج، آستارا از مهم‌ترین ساختارهای فعال زمین‌ساختی منطقه می‌باشند. با شناسایی مناطق مستعد به بروز زمین‌لرزه‌های بزرگتر از ۵ ریشتر در محیط GIS، پهنه‌های آسیب‌پذیر لرزه‌ای در منطقه شناسایی شد. پس از آن با هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی شیب، سنگ‌شناسی، میزان بارندگی، دبی رودخانه، سطح آب زیرزمینی و کاربری‌های انسانی میزان پتانسیل مخاطرات ژئوتکنیکی محاسبه گردید. نتایج اصلی تحقیق موید بالا بودن ریسک مخاطرات لرزه‌ای و ناپایداری‌های ژئوتکنیکی در محدوده استان‌های ساحلی می‌باشد. به طوری که استان مازندران و گلستان از ریسک آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به استان گیلان برخوردار است. همچنین نتایج مشخص نموده است که مناطق حاشیه دامنه شمالی البرز در ناحیه مشرف به دشت گرگان و منطقه جنوب شهر ساری تا نور و بخش مرکزی استان گیلان نسبت به نیروهای زمین‌لرزه از حساسیت آسیب‌پذیری بالایی برخوردار است. ضمن آنکه وجود پوشش‌های ضخیم لایه ماسه‌ای در کرانه ساحلی و منطقه مشرف به مصب رودخانه‌ها سبب افزایش ریسک روانگرایی در این مناطق می‌شود و حضور لایه‌های کم مقاوم رسی در تپه ماهورهای دامنه شمالی البرز و در منطقه تحت پوشش رسوبات لسی دشت گرگان میزان شدت آسیب‌پذیری مناطق مزبور را نسبت به وقوع زمین‌لغزش با توجه به مخاطرات لرزه‌ای افزایش می‌دهد.

واژگان کلیدی: زمین‌لرزه، دریای خزر، ناپایداری، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS).

مقدمه

امروزه بروز مخاطرات طبیعی در مناطق ساحلی از مشکلات بسیار مهم جامعه بشری در بهره‌وری بهینه از کاربری‌ها و منابع موجود در سواحل محسوب می‌شود. سالانه وقوع بلاای طبیعی چون: سونامی، طوفان‌های دریایی، نشست زمین، روانگرایی و لغزش‌های وسیع مواد رسوبی شرایط ناگوار و

خصوصاً قدیمی‌ترین مطالعات انجام گرفته توسط شرکت آمریکایی داپلونا در سال ۱۹۷۴ میلادی است که بر روی مخاطرات زمین‌شناختی بستر ناحیه جنوبی دریای خزر مطالعه کاملی انجام داد [10]. نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که بخش جنوبی دریای خزر در نواحی ساحلی و بخش بستر دریا از نظر عملکرد عوامل ناپایداری نظیر: امواج طوفانی، گل‌فشان‌ها (Mudvolcans)، گازهای کم عمق (Shallow gases)، نشست و لغزش مواد سست رسوبی، روانگرایی ماسه‌های ساحلی دارای آسیب‌پذیری بالایی می‌باشند [11]. همچنین یافته‌های علمی دیگر نمایانگر بالا بودن احتمال وقوع زلزله‌های زیردریایی و شکل‌گیری پدیده سونامی (Tsunami) در دریای خزر خصوصاً در بخش میانی آن است [13]. همچنین مشخص گردید که بخش جنوبی دریای خزر به لحاظ زمین‌ساخت لرزه‌ای منطقه‌ای بسیار فعال است [10]. بنابراین در این پژوهش شناسایی میزان شدت ناپایداری لرزه‌ای سواحل جنوبی دریای خزر در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) از مهم‌ترین اهداف مورد بررسی محسوب می‌شود. در حقیقت با نتایج حاصل از آن نقشه جانمایی پتانسیل مخاطرات لرزه‌ای سواحل جنوبی دریای خزر نسبت به تعیین مناطق فعال لرزه‌زا و نواحی پرریسک به لحاظ لغزش و روانگرایی تهیه می‌گردد. اهمیت انجام تحقیق مورد نظر در این ناحیه از دریای خزر به منظور تعیین مناطق پرخطر در محدوده شهرهای اصلی استان‌های ساحلی که واجد کاربری‌های مختلف مهم از قبیل واحدهای تجاری، اقتصادی و گردشگری می‌باشد، صورت می‌گیرد.

نامساعدی را برای ساحل‌نشینان در سطح دنیا به وجود می‌آورد. سواحل جنوبی دریای خزر نیز به عنوان یک حوضه شبه اقیانوسی [۱ و 14] از این اتفاقات و بحران‌های طبیعی مستثنی نبوده است. بنابراین ارزیابی شدت آسیب‌پذیری لرزه‌ای این منطقه از نظر پتانسیل خطر وقوع زمین‌لرزه‌های مخرب و شناخت مخاطرات ژئوتکنیکی ناشی از آن به عنوان مهم‌ترین مسائل اصلی پژوهش محسوب می‌شود. وقایع زمین‌شناختی گذشته این منطقه نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های مهمی که منجر به مرگ و میر عده کثیری از ساکنین استان‌های ساحلی (گلستان، مازندران و گیلان) گردید، در این منطقه به وقوع پیوست و مهم‌ترین آن زمین‌لرزه خرداد سال ۱۳۶۹ در شهر منجیل استان گیلان است [۴]. شواهد به جای مانده از رخداد لرزه‌ای مزبور گویای بروز زمین‌لغزش‌های گسترده و پدیده روانگرایی و نشست خاک در مناطق مسکونی می‌باشد [13]. گزارش‌های ارائه شده وقوع پدیده‌های ناپایدار ژئوتکنیکی به صورت زمین‌لغزش‌های بزرگ، راندگی و نشست زمین در مناطق مشرف به گسل لاهیجان را تایید می‌کند [13]. بنابراین پتانسیل مخاطرات لرزه‌ای و پدیده‌های طبیعی ناشی از آنها در ناحیه جنوبی دریای خزر بالا است. حضور گسل‌های بزرگ فعال و لرزه‌زایی مانند: گسل مازندران، البرز، لاهیجان، آستارا و سایر خطواره‌های گسلی منشعب از آنها (بادله، لویج، اوریم) در دامنه‌های شمالی البرز همواره موجب توجه بیش از حد زمین‌شناسان و برنامه‌ریزان به این منطقه شده است. برای مثال اجرای طرح‌های عمرانی ملی مانند ساخت سدهای برق آبی، نیروگاه‌های چند منظوره، بندر، راه‌آهن و پل‌های بزرگ نیازمند آگاهی کامل از وضعیت زمین‌ساخت لرزه‌ای و تعیین میزان خطر زمین‌لرزه می‌باشد. در این

روش تحقیق

برای مطالعه و ارزیابی شدت مخاطرات لرزه‌ای روش‌های گوناگونی وجود دارد که استفاده از ماهیت کمی نیروهای زمین‌لرزه و تعیین شتاب امواج لرزه‌ای با توجه به ماهیت خاک و جنس پی سنگ و خطواره‌های گسلی فعال موجود در منطقه معمولاً از روش‌های رایج در مهندسی زلزله می‌باشد [4]. در سال‌های اخیر استفاده از معیارهای مورفولوژی متأثر از زمین‌ساخت فعال منطقه نیز برای تعیین مخاطرات لرزه‌ای استفاده گردیده است [9]. اما در این پژوهش برای اولین بار با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدیریت جامع داده‌ها در سامانه درجه‌بندی خطرآفرینی وضعیت آسیب‌پذیری سواحل جنوبی دریای خزر نسبت به ناپایداری‌های لرزه‌ای و وقوع پدیده‌های ژئوتکنیکی وابسته به آنها مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در این پژوهش در گام نخست با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی و زمین‌ساخت لرزه‌ای با مقیاس مناسب، وضعیت چینه‌شناختی و مورفوتکتونیک منطقه از نظر ترکیب لیتولوژی سازندها و شناسایی گسل‌های اصلی مورد مطالعه قرار گرفت و نواحی حائز ریسک بالا از نظر وقوع مخاطرات زمین‌شناختی به طور اولیه مشخص گردید. پس از آن با برنامه‌ریزی لازم برای ارزیابی وضعیت موجود زمین‌شناسی و زمین‌ساخت از منطقه مورد مطالعه در مسیر امتدادی خطواره‌های گسلی بازدید به عمل آمد و مهم‌ترین عوارض طبیعی ناشی از حرکات دینامیکی آنها و وقوع زمین‌لرزه‌های قدیمی شناسایی گردید. سپس با استفاده از کاتالوگ داده‌های زلزله‌نگاری و تاریخچه لرزه‌خیزی، موقعیت جغرافیایی و شدت و بزرگی هر یک از زلزله‌های به وقوع پیوسته به صورت چشمه‌های لرزه‌زا مشخص گردید. پس از آن، نقاط

مزبور به همراه سایر اطلاعات مورد نیاز دیگر در لایه‌های مشخص (کانون زمین‌لرزه‌ها، جنس لیتولوژی، توپوگرافی، عوارض طبیعی، رودخانه و کرانه ساحلی، پوشش ماسه‌ای، زیرمحیط‌های رسوبی، سطح آب زیرزمینی، پوشش گیاهی و سایر مشخصات کاربری دیگر) طبقه‌بندی گردید و به محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی برای انجام پردازش‌های بعدی وارد شد. برای ارزیابی ریسک وقوع مخاطرات لرزه‌ای در سامانه جامع درجه‌بندی خطرآفرینی زلزله‌های بخش جنوبی دریای خزر از داده‌های لرزه‌ای استفاده شد که بزرگی آنها بیش از ۵ است. با انطباق مکانی موقعیت جغرافیایی چشمه‌های لرزه‌زا با سطح دهستان‌های استان‌های ساحلی بخش جنوبی دریای خزر، پهنه‌های فعال لرزه‌ای مشخص گردید. همچنین با انجام همپوشانی اطلاعات نقطه‌ای مربوط به بزرگی و شدت زلزله با موقعیت مکانی خطواره‌های گسلی به صورت عوارض خطی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و تلفیق آنها با یکدیگر موقعیت گسل‌های فعال در پهنه‌های پر خطر تعیین شد و در نهایت با همپوشانی مجموع لایه‌های مورد اشاره در بالا با یکدیگر در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی، وضعیت شدت آسیب‌پذیری لرزه‌ای سواحل جنوبی دریای خزر نسبت به نیروهای زمین‌لرزه و حوادث ژئوتکنیکی ناشی از آن به صورت پدیده‌های زمین‌لغزش و روانگرایی محاسبه گردید. در خاتمه برای تعیین صحت نتایج حاصل از سامانه مزبور نقشه‌های به دست آمده با نتایج حاصل از بازدیدهای میدانی مطابقت داده شد.

ارزیابی ریسک مخاطرات لرزه‌ای

نتایج حاصل از بررسی کاتالوگ‌های زلزله‌خیزی در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که سواحل جنوبی

لسی منطقه گرگان واجد پتانسیل بالای راندگی و زمین لغزش می باشد (شکل ۴). همچنین در مناطق جلگه ای پست مشرف به مصب رودخانه های بزرگ منطقه مانند: گرگان رود، هراز، سفیدرود و نوار ساحلی ماسه ای واقع در پهنه مازندران و گیلان مرکزی از ناپایداری بالایی به لحاظ روانگرایی برخوردار است (شکل ۵).

بحث

وضعیت مورفولوژی رسوبی منطقه مورد مطالعه

با توجه به اینکه جنس خاک و بستر زمین، شرایط توپوگرافی، آب و اقلیم از عوامل بسیار مهم در تعیین میزان ناپایداری های ژئوتکنیکی و آسیب پذیری لرزه ای می باشد. لذا نتایج حاصل از مطالعه نقشه ها و بازدیدهای میدانی به عمل آمده مشخص نمود که منطقه مورد مطالعه به لحاظ سیمای مورفولوژی شامل: جلگه های وسیع و پهنوار آبرفتی مازندران و گیلان در بخش مرکزی، ارتفاعات شمالی البرز و بخش ساحل جنوبی دریای خزر می باشد. یعنی منطقه به لحاظ نیمرخ توپوگرافی شامل کوه های مرتفع، تپه ماهورهای کم ارتفاع دامنه ای، جلگه آبرفتی میانی و بخش کرانه ساحلی است. روند امتداد طولی گسل بزرگ مازندران و نزدیکی آن به خط کرانه ساحلی موجب کم عرض شدن و پرتیب شدن ساحل در برخی از مناطق مانند سواحل ما بین نور تا رامسر و یا در ناحیه مجاور گسل آستارا در حد فاصل منطقه رضوانشهر تا آستارا شده است [۲]. همچنین حرکت معکوس و رو به بالای نیمه دیگر گسل های یاد شده شرایط ایجاد پرتگاه های گسلی را به صورت کوه های مرتفع در مناطق یاد شده (تله کابین نمک آبرود- چالوس) به وجود آورده است. بنابراین به لحاظ مورفولوژی شرایط مخاطرات طبیعی

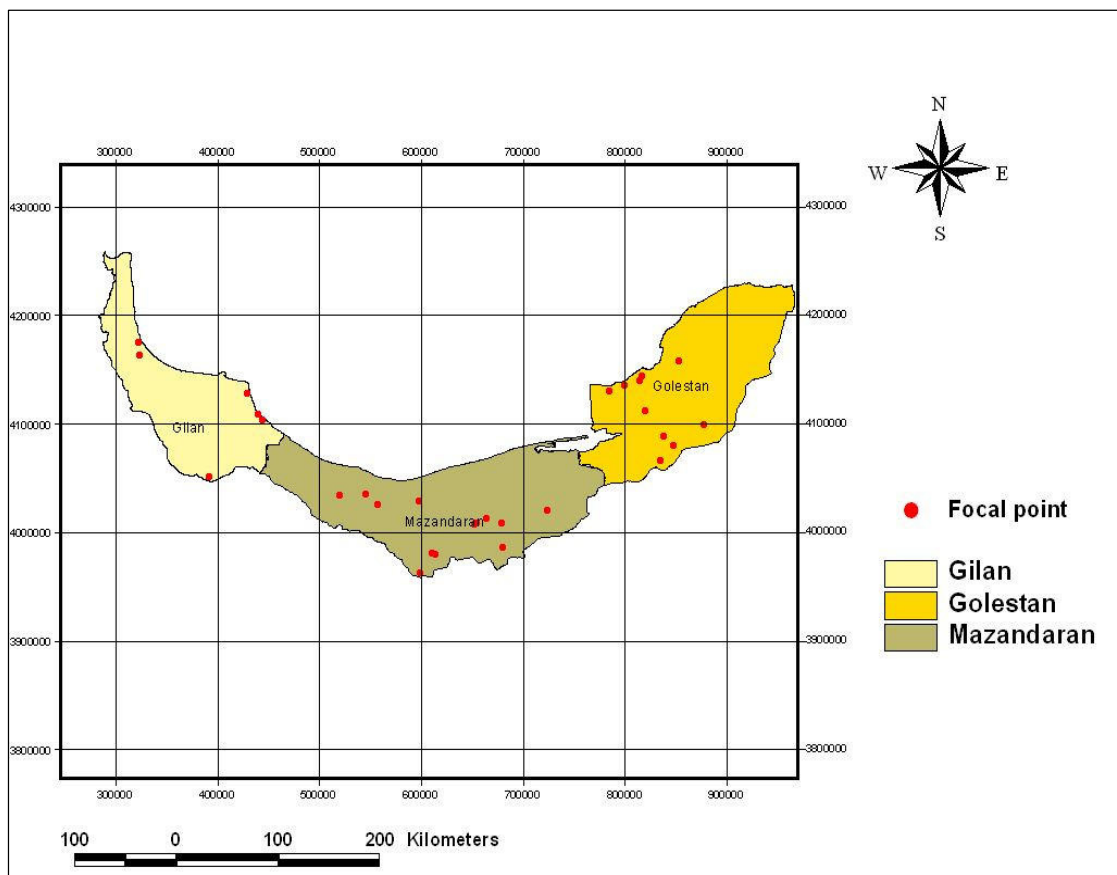
دریای خزر از نظر فراوانی و پراکنش کانون های لرزه زا با بزرگی بیش از ۵ واجد پتانسیل بالایی است (شکل ۱). همچنین موقعیت مکانی زلزله های پدید آمده با محور گسل های مهم و اصلی منطقه تطابق خطی کامل دارد و نشان می دهد که بیشتر خطواره های گسلی در منطقه در عهد حاضر فعال بوده و موجب بروز زمین لرزه های مهیب و ویرانگر نیز شده است (شکل ۲). همچنین نتایج حاصل از سامانه جامع درجه بندی مخاطرات لرزه ای مشخص نمود که منطقه مورد مطالعه به لحاظ بروز زمین لرزه های بیش از پنج ریشتر در ناحیه استان های ساحلی مازندران و گلستان از ریسک آسیب پذیری بالاتری نسبت به استان ساحلی گیلان برخوردار است (شکل ۳). شدت این مخاطرات طبیعی در منطقه مابین به شهر تا جنوب شهرستان نور در امتداد دامنه های شمالی البرز در استان مازندران و در ناحیه پست ساحلی منطقه دشت ترکمن از حد فاصل گرگان تا گمیشان به حداکثر میزان خود می رسد. البته در ناحیه جنوبی استان گیلان در راستای گسل لاهیجان نیز آسیب پذیر بودن منطقه مشخص شده است (شکل ۳).

ارزیابی ریسک ناپایداری ژئوتکنیکی

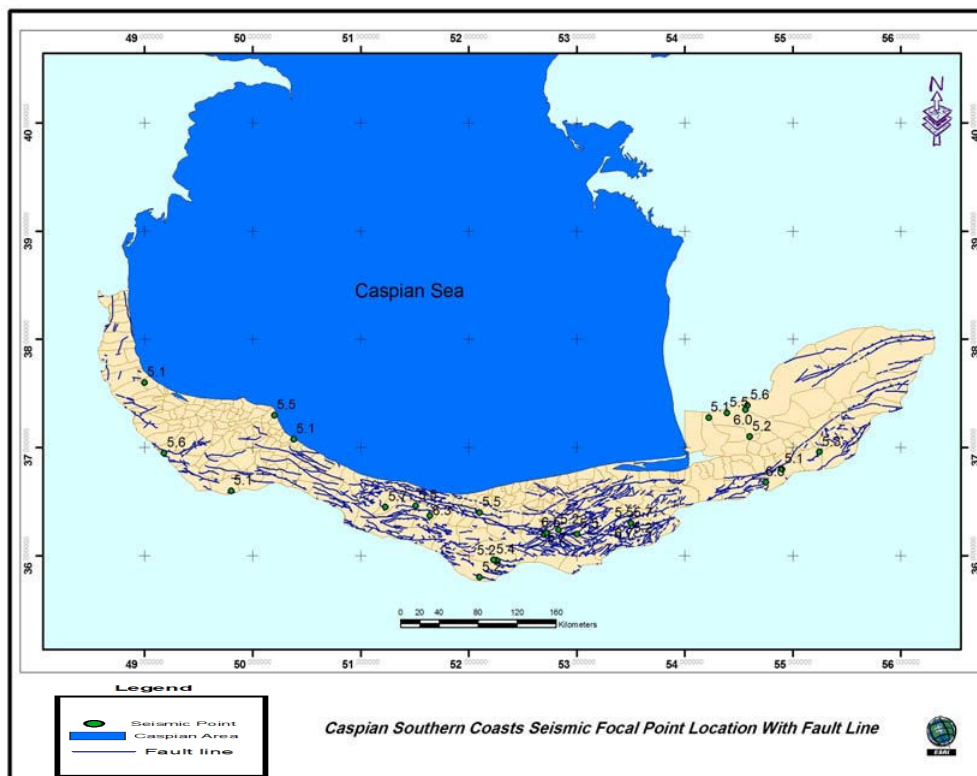
نتایج حاصل از تلفیق لایه های داده ای (لرزه ای، توپوگرافی، جنس خاک، سطح آب زیرزمینی، رودخانه، پوشش ماسه ساحلی، میزان بارندگی و کاربری های انسانی) در سامانه اطلاعات جغرافیایی و پردازش و آنالیز آنها مشخص نمود که منطقه مورد مطالعه در نواحی دامنه های ارتفاعات شمالی البرز در حد مابین تپه ماهورهای نئوزن- کوآترنری و جلگه ساحلی و در ناحیه مرتفع ما بین گسل های البرز و مازندران و همچنین در محدوده گسترش رسوبات

همراه با گراول‌های درشت دانه آبرفتی کواترنری در جلگه ساحلی مشرف به دریای خزر می‌باشد [۲]. بازدیدهای انجام گرفته مشخص نمود که میزان ناپایداری توده‌های مارنی حاوی رس‌های چسبنده نئوژن نسبت به بروز زمین‌لغزش و راندگی از حساسیت بسیار بالایی برخوردار است. همچنین حضور توده‌های ضخیم لایه ماسه‌ای در مناطق نزدیک به کرانه ساحلی و مصب رودخانه‌ها و منطقه کم ژرفای دریایی شرایط حساسیت روانگرایی بالایی را با توجه به بالا بودن سطح ایستابی سفره‌های زیرزمینی به وجود آورده است.

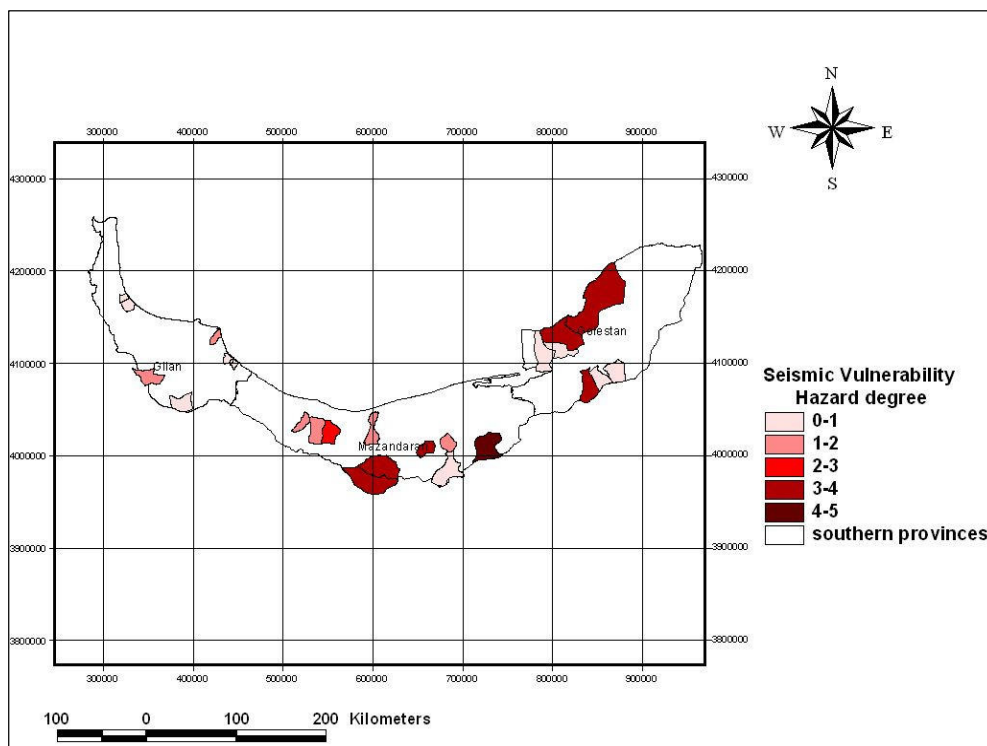
زمین‌شناختی و ناپایداری‌های ژئوتکنیکی در منطقه مورد مطالعه در مکان‌های مختلف از شرایط متفاوتی برخوردار است. از نظر پوشش خاک و جنس بستر نیز منطقه مورد بررسی با توجه به شرایط مورفولوژی یاد شده دارای ویژگی‌های متمایزی می‌باشد، به صورتی که در منطقه کوه‌های مرتفع بیشتر از سنگ‌های کربناته و ماسه‌سنگی مزوزوئیک همراه با توده‌های نفوذی ولکانیکی و در بخش دامنه‌ای در ناحیه بین بهشهر تا نور از تپه ماهورهای کم ارتفاع با واحدهای رسوبی کربناته تبخیری حاوی گچ، مارن‌های نواری رنگارنگ میوسن و سنگ‌های کربناته و کنگلومرایی پلیوسن



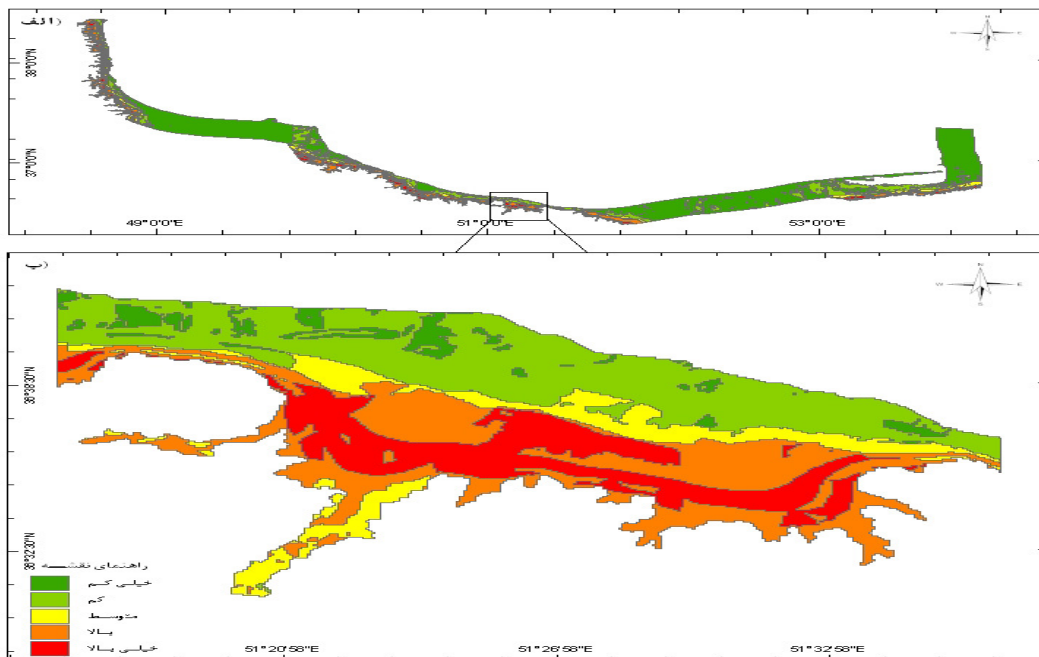
شکل ۱- توزیع چشمه‌های لرزه‌ها با بزرگی بیش از ۵ درجه در مقیاس ریشتر در سواحل جنوبی دریای خزر



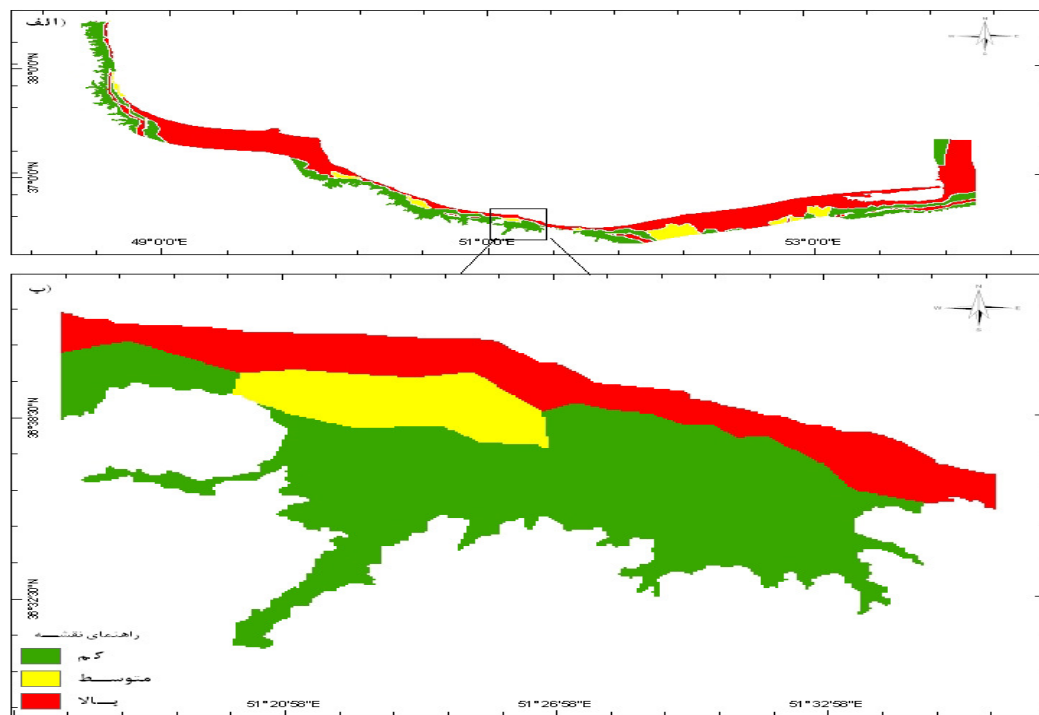
شکل ۲- انطباق خطواره‌های گسلی با چشمه‌های لرزه زا در ۱۰۰ سال گذشته



شکل ۳- شدت آسیب‌پذیری لرزه‌ای در محدوده استان‌های ساحلی دریای خزر



شکل ۴ - شدت پتانسیل خطر زمین لغزش در سواحل جنوبی دریای خزر



شکل ۵ - شدت پتانسیل خطر روانگرایی در سواحل جنوبی دریای خزر

تعیین شدت آسیب پذیری لرزه‌ای

وضعیت زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه در حاشیه ارتفاعات البرز و بخش جنوبی دریای خزر در حد فاصل گودال در محدوده حوضه آبریز استان‌های ساحلی شمال کشور (گلستان، مازندران و گیلان) موجب اهمیت آسیب‌پذیری آن به لحاظ بروز زمین‌لرزه‌های سهمگین و مخاطرات ژئوتکنیکی ناشی از آن شده است. در حقیقت با توجه به مطالعات انجام گرفته قبلی مشخص گردید که میزان فعالیت‌های زمین‌ساختی در این منطقه به علت حرکات ژئودینامیکی گسل‌های اصلی و گودال جنوبی که حالت فروچاله دارد بسیار بالا است [14,10]. بنابراین حرکات امتداد لغز گسل‌های اصلی منطقه (مازندران، البرز، لاهیجان و آستارا) شرایط را برای وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ و ویرانگر و ناپایداری‌های ژئوتکنیکی مانند رانش و زمین لغزش در منطقه مورد مطالعه به وجود آورده است [۵ و ۶]. این مساله در طول تاریخ شرایط ناگواری را برای ساکنین منطقه به صورت عوارض تخریبی، مرگ و میر رقم زده است. نتایج حاصل از سامانه درجه‌بندی مخاطرات لرزه‌ای در این پژوهش مشخص نمود که میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای منطقه مورد مطالعه بسیار بالا است (شکل ۳). نتایج حاصل از نقشه‌های تولید شده در سامانه درجه‌بندی ناپایداری لرزه‌ای سواحل جنوبی دریای خزر گویای حضور مناطق واجد حساسیت بالا در حاشیه امتداد طولی گسل بزرگ مازندران در نواحی مشرف به مناطق پست جلگه ساحلی استان گلستان (گرگان تا گمیشان) و نواحی جنوبی استان مازندران در ناحیه دامنه‌های شمالی البرز و بخش ارتفاعات آن می‌باشد. بالا بودن آمار زلزله‌خیزی با بروز زمین لرزه‌هایی با قدرت بیشتر از ۵ ریشتر طی ۱۰۰ سال

اخیر [8] در این منطقه گویای این حساسیت بالای آسیب‌پذیری است. بنابراین با جمع‌بندی نتایج حاصله می‌توان چنین استنتاج نمود که بخش جنوبی دریای خزر به لحاظ زمین‌ساخت لرزه‌ای منطقه‌ای بسیار فعال و پر مخاطره می‌باشد.

تعیین مناطق آسیب‌پذیر و ناپایدار لغزشی

نتایج حاصل از سامانه جامع درجه‌بندی مخاطرات لرزه‌ای بخش جنوبی دریای خزر مشخص نمود (شکل ۳) که مناطق مرتفع دامنه‌ای مستقر در حد فاصل بین گسل بزرگ مازندران و گسل البرز یعنی در محدوده قلمرو پهنه تپه ماهورهای نئوژن-کواترنری با توجه به ماهیت جنس خاک که از واحدهای سنگ چینه‌ای رسوبات تپه‌خیزی و کلوئیدی مارن و رس‌های کربناته همراه با مواد ماسه‌ای برخوردارند [۷] نسبت به وقوع زمین‌لغزش و رانندگی‌های حاصل از عوامل ثقلی و نیروهای زمین‌لرزه بسیار آسیب‌پذیر می‌باشند. برای مثال وقوع لغزش‌های بزرگ در محدوده ناحیه دودانگه و چهاردانگه جنوب ساری، بندپی بابل در اثر حساسیت‌های زیاد واحدهای سنگ چینه‌ای نسبت به عوامل اقلیمی و بارندگی و یا زمین‌لغزش مهیب به وقوع پیوسته در ناحیه فتلک از توابع استان گیلان در مجاورت شهر رودبار در اثر زمین‌لرزه سال ۱۳۶۹ که منجر به نابودی کامل روستای یاد شده و مرگ و میر عده کثیری از ساکنین بومی آن گردید، قابل ذکر می‌باشد [۷]. در حقیقت در محل ارتفاعات پر بارش حاوی رسوبات سست و روان که با عملکرد دینامیک حرکتی گسل‌های مهم منطقه ناپایدار شده‌اند، این بحران زمین‌شناختی به شکل توسعه یافته‌ای به وقوع می‌پیوندد. بررسی‌های میدانی نشانه رخداد و احتمال وقوع این ناپایداری را در مناطق ما بین دره رودخانه

گلندرود نور تا نکارود واقع در بخش شرقی استان مازندران تایید می‌کند. همچنین مناطق مشرف به تراس‌ها و پرتگاه‌های گسلی واقع در حاشیه گسل بزرگ مازندران واقع در مابین منطقه نوشهر تا رامسر نیز از این رویداد مستثنی نیستند (زمین‌لغزش سال ۱۳۷۲ رامسر). مهم‌ترین دلایل وقوع چنین پدیده زمین‌شناختی در منطقه مورد مطالعه تکتونیک فعال، بارندگی زیاد، سست و روان بودن رسوبات و شیب زیاد منطقه در دامنه‌های شمالی البرز می‌باشد.

ارزیابی ریسک وقوع پدیده روانگرایی

پتانسیل روانگرایی خاک‌های ساحلی با معیارهای خصوصیات فیزیکی خاک‌ها، فاکتورهای محیطی و مشخصات زمین‌لرزه‌ای منطقه‌ای محاسبه می‌شود [15]. یعنی اگر ناحیه‌ای از نظر وقوع زمین‌لرزه پتانسیل بالایی داشته باشد و خاک‌های آن از نظر روانگرایی استعداد قابل توجهی را دارا باشند. میزان ریسک و خطر این ناحیه برای به وقوع پیوستن روانگرایی بالا است. برخی از این پارامترها به طور مستقیم قابل اندازه‌گیری نمی‌باشند، اما آثار حاصل از آنها قابل بازیابی است. برای مثال خاک‌های سست، تمیز ماسه‌ای واجد حساسیت بالایی برای روانگرایی هستند اما اگر در منطقه‌ای بدون ریسک وقوع زمین‌لرزه قرار گیرند آنها از ریسک آسیب‌پذیری روانگرایی بسیار پایینی برخوردار می‌شوند [15]. تهیه نقشه مخاطرات روانگرایی به میزان قدرت جابجایی زمین که به خصوصیات خاک، لرزه‌خیزی منطقه و توپوگرافی بستگی دارد [15]. وضعیت رسوبات پوشاننده ساحلی در منطقه مورد مطالعه شامل مواد آبرفتی سست و ناجور دانه حاصل از آوردهای رودخانه‌ای و سیلاب‌های فصلی است که در مواقع بروز

بارندگی‌های تند دشت جلگه‌ای تا ناحیه کرانه‌ای دریای خزر را مورد رسوب‌گذاری قرار می‌دهند [7]. در منطقه خط ساحلی از ناحیه تپه‌های ماسه‌ای تا بخش خاکریز و ژرفای ۵ متری دریا اعم رسوبات شامل مواد رسوبی ماسه‌ای است که قطر متوسط دانه‌های رسوبی در راستای شرق به غرب روند فزاینده دارد [3]. به طوری که در سواحل مشرف به رویان تا رامسر مواد ماسه‌ای به گراول‌های درشت دانه در حد ریگ و قلوه سنگ تغییر رخساره می‌دهند. این حالت در سواحل غرب گیلان نیز عمومیت دارد [3]. وجود بیش از ۱۰۰ رودخانه فصلی و دائمی در سواحل جنوبی دریای خزر شرایط تشکیل دلتا را برای رودخانه‌های بزرگ چون سفید رود، هراز و گرگان‌رود فراهم کرده است که غنی از مواد ماسه‌ای است. قرارگیری تالاب‌های بزرگ میانکاله، انزلی، کیشهر و زاغمرز در حاشیه جنوبی دریای خزر که حاوی مواد رسوبی ماسه‌ای می‌باشند نیز شرایط حساسیت آسیب‌پذیری سواحل را نسبت به وقوع روانگرایی افزایش می‌دهد. تغییرات شیب ناحیه خشک ساحلی و سطوح پیرومتری آب‌های زیرزمینی و شیب بخش کم ژرفای دریایی از دیگر معیارهای مهم در میزان حساسیت روانگرایی سواحل جنوبی دریای خزر محسوب می‌شود که در مناطق مختلف واجد شرایط متنوع می‌باشد. نتایج حاصل از سامانه درجه‌بندی مشخص کرده است که شدت روانگرایی خاک‌های ساحلی بخش جنوبی دریای خزر با توجه به آسیب‌پذیری لرزه‌ای آن در نواحی مشرف به مصب رودخانه‌های بزرگ سفید رود و گرگان رود بسیار بالا است (شکل ۵). عمدتاً رودخانه‌های پر پیچ و خم منطقه که فاصله سرچشمه تا مصب آنها زیاد است و حجم بالایی از رسوبات ماسه‌ای با جورشدگی خوب

۵- شدت روانگرایی خاک‌های ساحلی بخش جنوبی دریای خزر در نواحی مشرف به مصب رودخانه‌های بزرگ سفید رود و گرگان رود و هراز بسیار بالا است. نواحی ماسه‌ای مشرف به سواحل بخش مازندران شرقی تا مرکزی (امیرآباد تا نور) و گیلان مرکزی (کیاشهر تا کپور چال انزلی) از ریسک آسیب‌پذیری بالایی نسبت به پدیده روانگرایی برخوردار است. همچنین تالاب‌های میانکاله و مرداب انزلی، امیرکلایه و زاغمرز نیز واجد استعداد بالایی برای روانگرایی می‌باشند.

منابع

- ۱- آقائاتی، ع، ۱۳۸۳، زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۳۸۷ ص.
- ۲- خوشروان، ه، ۱۳۷۹، پهنه‌بندی مورفولوژی سواحل جنوبی دریای خزر، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، وزارت نیرو، گزارش شماره ۵۶، ۱۴۸ ص.
- ۳- خوشروان، ه، ۱۳۸۴، آسیب‌پذیری فرسایشی سواحل جنوبی دریای خزر، مرکز ملی مطالعات و تحقیقات دریای خزر، وزارت نیرو، گزارش داخلی، ۲۷۵ ص.
- ۴- زارع، م، ۱۳۷۳، پژوهش و بررسی اثرهای ساختگاه بر جنبش شدید زمین در هنگام زمین‌لرزه منجیل، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس، ۲۳۲ ص.
- ۵- زارع، م، شاه پسندزاده، م، ۱۳۷۴، بررسی مقدماتی لرزه‌خیزی لرزه زمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه، گسلش در پهنه استان مازندران، موسسه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، ۲۴۷-۲۵۶.
- ۶- شاه پسندزاده، م، رقیمی، م، دماوندی، م، ۱۳۷۹، بررسی نقش درزه‌های مرتبط با گسلش در پهنه خطر رویداد زمین‌لرزه در گستره گرگان، استان گلستان، همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تبریز، مرکز نشر سمر، ص ۱۲۸-۱۳۵.

را در نواحی کرانه‌ای رسوب‌گذاری می‌نمایند، واجد ضریب آسیب‌پذیری بالایی برای وقوع روانگرایی می‌باشند. شرایط روانگرایی در نواحی مشرف به سواحل غرب مازندران در بخش کم ژرفای دریایی محدوده ساحلی سیسنگان تا رامسر نیز به علت شیب زیاد بستر و حضور ماسه‌های درشت دانه خوب جور شده در اعماق بین ۲/۵ تا ۳۰ متر از سایر مناطق دیگر بیشتر است.

نتیجه‌گیری

- ۱- بخش جنوبی دریای خزر به لحاظ ماهیت زمین‌ساختی لرزه‌ای منطقه‌ای فعال و واجد حساسیت آسیب‌پذیری لرزه‌ای و آفری است.
- ۲- وجود گسل‌های فعال مازندران، البرز، آستارا و لاهیجان و انشعابات فرعی آنها در منطقه مورد مطالعه شرایط ناپایداری ژئوتکنیکی زمین و بروز زمین‌لرزه‌های مهیب و ویرانگر را توسعه می‌دهند.
- ۳- منطقه مورد مطالعه از لحاظ تاریخچه لرزه‌خیزی و بروز زمین‌لرزه‌های با بزرگی بیش از ۵ پتانسیل بالایی دارد. به طوری که در سواحل مرکزی مشرف به منطقه مورفولوژیکی مازندران مرکزی در حد فاصل بهشهر تا نور و در حد فاصل گرگان تا گمیشان در استان گلستان از مخاطرات زمین‌لرزه‌ای بالایی برخوردار است. استان گیلان نیز از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای در الویت بعدی قرار دارد.
- ۴- ریسک آسیب‌پذیری زمین‌لغزش و رانش‌های بزرگ در ناحیه مرکزی استان مازندران در حد فاصل دره رودخانه گلندرود نور تا منطقه نکا در راستای دامنه‌های شمالی البرز و در ناحیه مشرف به تپه ماهورهای نئوژن-کواترنری با توجه به شیب و میزان بارندگی و جنس خاک بستر بیشترین مقدار ممکن را داراست.

- 12- Dotsenko, S. F., Kuzin, I. P., Levin, B. V., and Soloviev, O. N., (2000) a: Tsunami in the Caspian Sea: Seismic sources and features of propagation, *Oceanology*, 40 (4), 474-482 p.
- 13- George L.Choy., (1997). The rupture Process of Manjil, Iran earthquake of 20 June 1990 and implication for intraplate strike-slip earthquakes. Geological Survey, Denver, USA, 342- 361 p.
- 14- Marie-Francoise Brunet, (2003) The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modeling, *sedimentary geology* 156, 119-148 p.
- 15- T.leslie Youd, (1998): Screening Guide for Liquefaction Hazard at Highway Bridge Sites, the Quaternary publication of MCEER Vol, 12, No, 2, 245 p.
- ۷- شهرابی، م، ۱۳۷۱. زمین شناسی کواترنر کرانه‌های دریای خزر، گزارش شماره ۶۰، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۲۴ ص.
- 8- Ambesis, N. Meloyel, Ch., (1991), Iranian seismic historical record, Agah publishing, Iran. 57 p.
- 9- Antonio L. Fernandez, Neil R. Britton, (2006), Application of a prototype morphological model for earthquake disaster risk management, 2nd Asia Conference on Earthquake Engineering, Manila, Philippines. 135, 34- 41 p.
- 10- Berberian, M, (1983). The Southern Caspian: Compression depression flood by a trapped, modified oceanic crust. *Can. J .Erth.*120, 163- 183.
- 11- D, Appolonia. (1974). Caspian Sea floor hazard, Iranian oil company internal publishing, 165 p.

