نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال اول، شماره پیاپی ۲، تابستان ۱۳۹۳
صفحات۱۳-۱

استفاده از نرم‌افزار ComMIT در پهنه‌بندی خطر سونامی در سواحل جاسک

ابراهیم مقیمی، استاد ژئومورفولوژی، دانشگاه تهران[۱]
علیرضا صالحی پور میلانی، کارشناس ژئومورفولوژی سواحل، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور
مهدی چاکری، کارشناس ارشد ژئوفیزیک، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور
مصطفی مقیمی، کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان

دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۱۲/۲۰ پذیرش نهایی: ۱۳۹۳/۳/۲۷

چکیده

دریای عمان به واسطه وجود منطقه‌ی فرورانش در نزدیکی ساحل ایران در صورت وقوع زلزله‌ای با بزرگی بالا در بستر دریا، سونامی، خسارات شدیدی به تأسیسات ساحلی و مسکونی وارد خواهد آورد. در سونامی ششم دی ماه ۱۳۸۳، با وجودی که بین کانون زمین‌لرزه اقیانوس هند و شهرهای ساحلی ایران در کنار دریای عمان فاصله‌ی زیادی وجود داشت، موج‌های سونامی در شهر چابهار خسارت‌های اندکی بر جای گذاشت. این به آن معنا است که اگر کانون زمین‌لرزه به ساحل ایران نزدیک‌تر باشد، شهرهای ساحلی ایران نیز با خطر جدی روبه‌رو می‌شوند. با توجه به این‌که ایران در کمربند زلزله‌خیز جهان قرار دارد، وقوع سونامی در دریای عمان امری دور از ذهن نخواهد بود. از این رو، ضرورت مطالعه‌ی جامع درباره‌ی سونامی در دریای عمان احساس می‌شود. در این مقاله سعی شده است که علاوه بر مطالعه‌ی زمین‌شناسی مکران به بررسی تاریخچه‌ی وقوع سونامی در سواحل دریای عمان پرداخته شد. علاوه بر این، با استفاده از داده‌های حاصل شده در GIS و مدل‌سازی در نرم‌افزار ComMIT وقوع سونامی در سواحل دریای عمان مدل‌سازی و بر روی تصاویر ماهواره‌ای نشان داده شد. شهر جاسک به دلیل موقعیت راهبردی خود در دریای عمان و تمرکز تأسیسات نظامی و بندری و برنامه‌ریزی‌های بلندمدتی که برای توسعه‌ی این بندر در دست اجرا است اهمیت بسیار فراوانی در دریای عمان دارد. از این رو، مدل‌سازی وقوع سونامی با دقت بسیار در این منطقه اجرا شد. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که میزان تأثیرپذیری این منطقه از سونامی، با توجه به بزرگی زلزله به وقوع پیوسته و موقعیت جغرافیایی سواحل این شهر، گوناگون است و در شدیدترین زلزله بخش مهمی از تأسیسات ساحلی آسیب جدی خواهد دید.

واژگان کلیدی: سونامی، دریای عمان، مدل‌سازی، جاسک، ComMIT

[۱] نویسنده‌ی مسئول
Email:Emoghimi@ut.ac.ir

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

مقدمه

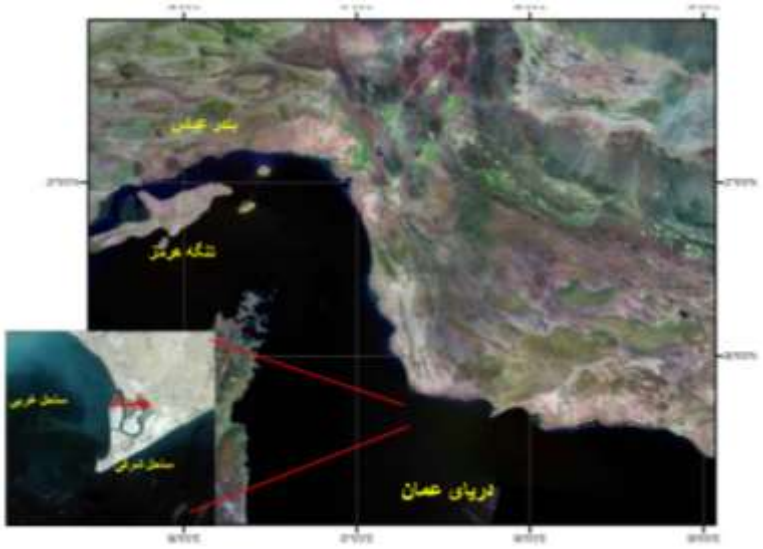
به عقیده اغلب کارشناسان و متخصصان ایرانی در دریای عمان، یعنی از تنگه هرمز تا مرز بین ایران و پاکستان، امکان سونامی وجود دارد، زیرا از یک‌سو شکستگی‌های فراوانی در کف اقیانوس هند وجود دارد و، بنابراین، احتمال فراوانی وجود دارد برای آنکه گسلی بزرگ زمین‌لرزه‌ای شدید را در این ناحیه ایجاد کند و، در نتیجه‌ی آن، با جابه‌جایی آب کف دریا پدیده‌ای همانند سونامی در تمامی نقاط ساحل مکران اتفاق بیفتد. آثار تاریخی به جا مانده نشان می‌دهد که در منطقه مکران (شامل ایران و پاکستان) زلزله‌های بزرگی رخداده است (ابراهیمی و زارع، ۱۳۸۶). سونامی یک موج نیست، بلکه مجموعه‌ای از موج‌های بسیار طولانی است. گاهی فاصله بین دو قله موج صدها کیلومتر است. این موج‌ها با سرعتی که ممکن است به ۹۰۰ کیلومتر در ساعت برسد به سوی ساحل پیش می‌روند. در ابتدا، موج‌ها ارتفاع چندانی ندارند و در دریای باز و عمیق ممکن است احساس هم نشوند، اما وقتی عمق آب کاهش می‌یابد، طول موج‌ها کم و ارتفاع آن‌ها زیاد می‌شود. در این حالت، ارتفاع آن‌ها ممکن است به ۱۵ متر هم برسد. طول موج سونامی در محل تولید بسیار بلند است. با حرکت موج سونامی به سمت ساحل ارتفاع بالا و طول موج و سرعت پایین می‌آید. برای بررسی آسیب‌پذیری سازه‌ها در مقابل موج سونامی باید فیزیک موج و پارامترهای آن از قبیل دوره، طول موج و سرعت انتقال موج در محل سازه مشخص باشند. پارامترهای اصلی موج سونامی از قبیل دوره، ارتفاع موج و سرعت انتقال موج روابط تجربی است که از بزرگی زلزله‌ی عامل سونامی به دست آمده‌اند و بر این اساس محاسبه می‌شوند (عقیلی و آقا کوچک، ۱۳۸۷). برای مدل‌سازی سونامی از مدل‌ها و نرم‌افزارهای متعددی استفاده می‌شود. نرم‌افزار ComMIT برای اولین بار در آزمایشگاه محیط‌زیست دریایی اقیانوس آرام استفاده شد و تیتو (Titov, ۲۰۰۹)، تانگ و همکاران (Tang,et.al.,۲۰۰۹)، وی و همکاران (Wei, et.al.,۲۰۰۵) به تشریح نحوه‌ی عملکرد آن پرداخته‌اند و آن را بررسی کردند. از این مدل در سال ۲۰۱۳ برای مدل‌سازی سونامی در ساحل غربی نیوزیلند استفاده شد و ارتفاع موج بازسازی شده به ۰/۵ متر رسید (Borrero, ۲۰۱۳). نتایج حاصل از این مدل‌سازی در بنگلادش موجی در حدود ۲۰۲ متر را به همراه داشته است (Sujit, ۲۰۰۷). این مدل در لا پلامای جزایر قناری موجی ۱/۴ متری را به وجود آورد که بعد از دو ساعت و پنجاه دقیقه به ساحل این منطقه برخورد کرد (lovholt,et.al., ۲۰۱۰). با بررسی جامع سونامی و تأثیرات آن بر روی سواحل ایران و به کارگیری اقدامات پیشگیرانه می‌توان از به بار آمدن خسارات فراوان در این منطقه جلوگیری کرد. توجه به موارد ذکر شده در بالا و، همچنین، اهمیت و نقش بسیار فراوانی که این بندر در آینده خواهد داشت بررسی دقیق ویژگی‌های طبیعی، اقلیمی، زمین‌شناسی و مخاطراتی طبیعی که از سمت خشکی و دریا این بندر را تهدید می‌کنند (از جمله طوفان‌های دریایی، سونامی و سیلاب‌های رودخانه‌ای) از نکات بسیار ضروری است. با این مطالعات، پیش‌بینی‌ها و مدل‌سازی‌ها می‌توان زمینه را برای رویارویی با این پدیده‌ها افزایش داد و با برنامه‌ریزی برای توسعه‌ی پایدار در این منطقه، علاوه بر بهره‌برداری از امکانات موجود و پتانسیل‌های بسیار فراوان آن، زمینه را برای رشد و توسعه آتی شهر جاسک فراهم آورد.

داده ها و روش کار

بندر جاسک مرکز شهرستان جاسک در استان هرمزگان در انتهای شبه‌جزیره‌ی جاسک به نام رأس الجاسک و در ارتفاع متوسط چهار متری از سطح دریا قرار دارد (شکل ۱). نام آن در منابع جاشک، چاسک و چاشک ضبط شده است. حداکثر مطلق دمای آن (در تیرماه) به ۴۲ ° و حداقل مطلق آن به ۱۰ ° و گاهی میانگین بارندگی سالانه آن به ۱۴۲ میلی‌متر می‌رسد. هوای آن گرم و مرطوب است. بندر جاسک در حدود ۳۲۸ کیلومتری جنوب شرقی بندرعباس قرار گرفته است. این بندر با راه اصلی به شهر میناب و با جاده‌های خاکی به دیگر آبادی‌ها و از طریق دریا با بندرها عباس، لنگه، کنارک و چابهار مرتبط می‌شود. شبه‌جزیره جاسک خلیج شرقی و غربی جاسک را از یکدیگر جدا می‌کند. این شبه‌جزیره را خورهایی با زبانه‌های متعدد از کرانه مقابل بریده است و، هنگام طغیان آب، این خورها گاهی پیوستگی شبه‌جزیره را با اراضی عقب قطع می‌کند و جاسک به شکل جزیره درمی آید. طول شبه‌جزیره ۳/۵۰۰ متر است. سواحل دریا صخره‌ای و در بعضی نقاط شامل پهنه‌های جزر و مدی و سواحل و تپه‌های ماسه‌ای است. ارتفاعات بشاگِرد به طول سه تا چهار کیلومتر در شمال شبه‌جزیره امتداد دارد و تپه‌هایی به ارتفاع چهار تا شش متر در شمال این شبه‌جزیره واقع است. انتهای شبه‌جزیره جاسک

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

جاسک سر نامیده می‌شود. بندر جاسک از لحاظ راهبردی اهمیت بسیار فراوانی دارد. استقرار پایگاه دوم نیروی دریایی در جاسک و، همچنین، حضور نیروی دریایی سپاه به لحاظ جایگاه نظامی موقعیتی بسیار ممتاز را برای این منطقه به وجود خواهد آورد و، در پی آن، مهاجرت خانواده‌های کارکنان نظامی در این منطقه جمعیت شهرستان جاسک را در چند سال آینده نزدیک به سه برابر افزایش خواهد داد. علاوه بر آن راه‌اندازی فرودگاه شهرستان جاسک از جمله برنامه‌هایی است که در آینده‌ای نزدیک در این منطقه به اجرا در خواهد آمد و سبب رونق اقتصادی، تجاری در این منطقه خواهد شد. علاوه بر آن طرح احداث خط لوله‌ی نکا / جاسک (با هدف ایجاد ظرفیت انتقال نفت خام به کشورهای حوزه‌ی دریای خزر از تأسیسات موجود نکا با احداث خط لوله‌ای به قطر ۴۸ اینچ و به طول تقریبی ۱۶۴۰ کیلومتر و به ظرفیت حدود یک میلیون بشکه در روز با هزینه‌ای در حدود ۷/۲ میلیارد یورو) در این منطقه به اجرا در خواهد آمد. با توجه به موارد ذکر شده در بالا و اهمیت و نقش بسیار فراوان که این بندر در آینده ایفا خواهد کرد، به یکی از قطب‌های اقتصادی، نظامی و تجاری منطقه تبدیل خواهد و در توسعه‌ی نواحی پیرامونی خود نقش مهمی را ایفا خواهد کرد.

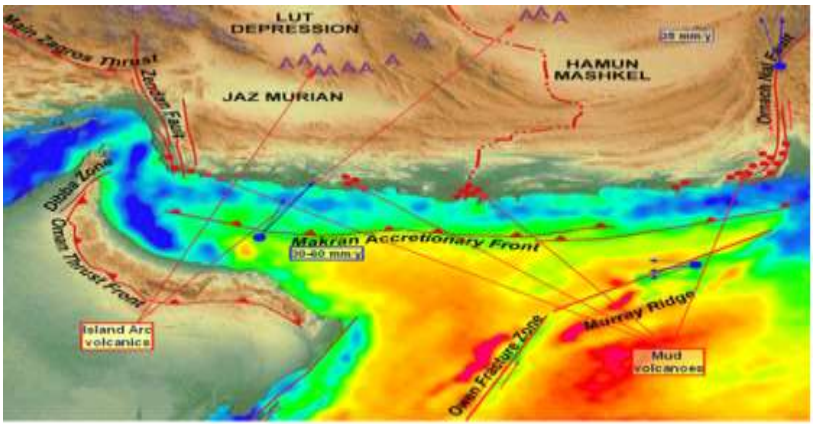


شکل ۱. موقعیت جغرافیایی شهر جاسک

تکتونیک فعال صفحه‌ی هم‌گرای هند با میکرو پلیت‌های ایران و عربی و فرورانش آن به میزان حدود ۳۰ تا ۵۰ میلی‌متر یک صفحه‌ای تکتونیکی گسترده و پیچیده‌ای در حاشیه از آسیای جنوبی و در طول سواحل مکران ایران و پاکستان به وجود آورده است (Platt, et.al., ۱۹۸۵). این صفحه‌ی تکتونیکی جهت یافته شرقی- غربی یکی از بزرگ‌ترین لبه‌های برافزایشی بر روی زمین است. بیش از ۸۰۰ کیلومتر طول دارد و از سمت شرق و غرب با گسل‌های ترانس فرم محدود شده‌اند که با عنوان مرز صفحات معروف هستند. این جبهه شامل زون سابداکشن مکران MSZ[۱] و چاله‌ای توپوگرافی به‌هم پیوسته‌ای است که در سطح وسیعی با رسوبات مدفون شده است. همچنین، حاشیه‌ی شامل منشور برافزایشی مکران(MAP)[۲]، رشته‌ی ساحلی مکران (MCR)[۳] و کمان آتش‌فشانی چی گای است. به سمت غرب منشور برافزایشی چین‌های زاگرس و کمربند تراس آن شکل یافته است (Regard,et.al.,۲۰۰۳) (شکل ۲).

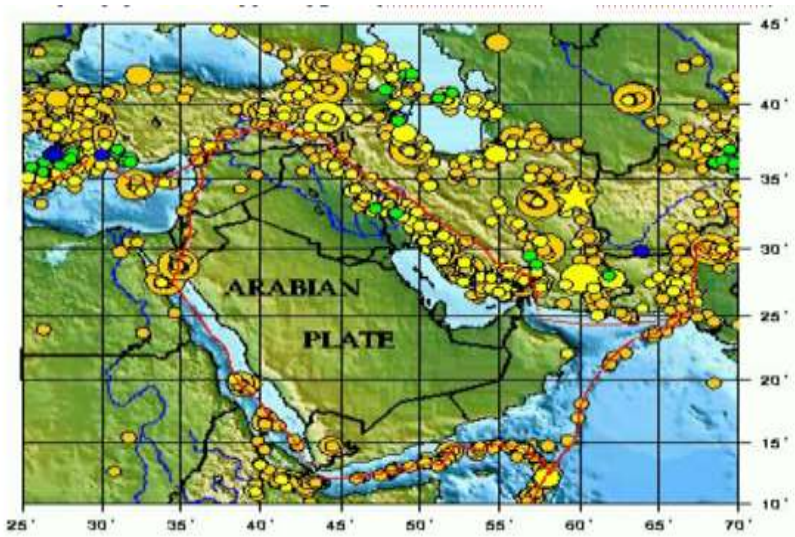
[۱] -Makran Subduction Zone
[۲] -Makran Accretionary Prism
[۳] -Makran Coastal ridge

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۲. میکرو پلیت پاکستان، افغانستان، ایران و عربی

دریای عمان و منطقه دور از ساحل مکران در طور سال‌ها به طور فشرده‌ای با نقشه‌برداری‌های سوات[1] بازتاب‌های لرزه‌ای با قدرت تفکیک بالا و تک کاناله، لرزه‌نگاری بستر اقیانوس، مانیتورینگ میکرو لرزهای، مگنتیک، گراویتی و مجموعه داده‌های لرزه‌ای دوبعدی ژئومار آلمان، دانشگاه کمبریج و مؤسسه‌ی بین‌المللی اقیانوس‌شناسی پاکستان، کروز (Dorostian and Gheitanchi, ۱۳۸۷). بررسی شده است (شکل ۳).



شکل ۳. توزیع کانون زلزله‌ها در طول مرزهای تکتونیکی (Dorostian and Gheitanchi, ۱۳۸۷).

بیشتر زلزله‌های بزرگ سطحی در منطقه‌ی سابداکشن زون سونامی تولید می‌کنند. بنابراین، بررسی زون‌های سابداکشن جهان و پتانسیل سونامی آن‌ها امری ضروری است. وجود زلزله در منطقه‌ی مکران و دریای عمان و بروز سونامی ۲۷ نوامبر ۱۹۴۵ در ساحل مکران دلالت بر ناامن بودن منطقه (از نوع سونامی) دارد (شکل ۴). تفسیر ژئوفیزیکی منطقه نیز صحت این گفته را تایید می‌کند. سواحل بالاآمده در طول سواحل مکران این مدل تکتونیکی زون ساحلی را در دور از نواحی ساحلی اثبات می‌کند (Heidarzadeh,et.al.,۲۰۰۷). مطالعات نشان می‌دهد که کم‌ترین سرعت فرورانش صفحه عمان به زیر صفحه ایران حدود ۱۹/۵ میلی‌متر در سال و بیشترین این مقدار نیز حدود ۲۷ میلی‌متر در سال برآورد می‌شود.

[1]- swath

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۴. منطقه تولید سونامی در سواحل پاکستان در ۲۸ نوامبر ۱۹۴۵ (Platt, et.al., ۱۹۸۷)

این رویداد تنها رویداد زمین‌لرزه و سونامی است که در منطقه‌ی مکران به کمک دستگاه‌های لرزه نگار ثبت شده است و، از این رو، اهمیت فراوانی دارد. رخداد این سونامی تلفات مالی و جانی گسترده‌ای در سواحل ایران، پاکستان، هند و عمان بر جای گذاشت (Ambraseys and Melville, ۱۹۸۲). در سواحل پاکستان بیشترین ارتفاع ثبت شده به ۱۳ متر رسید. در کراچی ارتفاع امواج به حدود دو متر رسید. شهرهای بندری پسنی و اورماره به‌شدت آسیب دیدند که بر اثر آن حدود ۴۰۰۰ نفر کشته شدند و آسیب‌های فراوانی به تأسیسات ساحلی وارد آمد. بر اساس گزارش‌های موجود، پس از رخداد سونامی، قسمتی از این دو شهر به زیر آب فرو رفت و شکست‌های اساسی و عمده‌ای در زمین پدید آمد و در بعضی نقاط تا حدود ۱/۵ متر زمین پایین افتاده بود (Ambraseys and Melville, ۱۹۸۲). همچنین، میزان فراخاست زمین نیز در حدود دو متر گزارش شده است (پگ و هکاران، ۱۹۷۹) در بمبئی ارتفاع امواج سونامی حدود دو متر گزارش شد (Ambraseys and Melville, ۱۹۸۲) و در گوجرات به ۱۱ متر رسید. در این‌باره گزارش‌هایی از ثبت امواج سونامی در مسقط (عمان) و نواحی ساحلی ایران وجود دارد (مورتی و باپات، ۱۹۹۹)، اما هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد جزئیات این رویداد و تلفات جانی و مالی ناشی از آن در سواحل ایران و عمان ثبت و گزارش نشده است (GEOMAR, ۲۰۰۰). (جدول ۱).

جدول ۱. جدول زمانی زلزله‌های بزرگ تاریخی و ثبت شده دستگاهی (Heidarzadeh, *et.al.*, ۲۰۰۷).

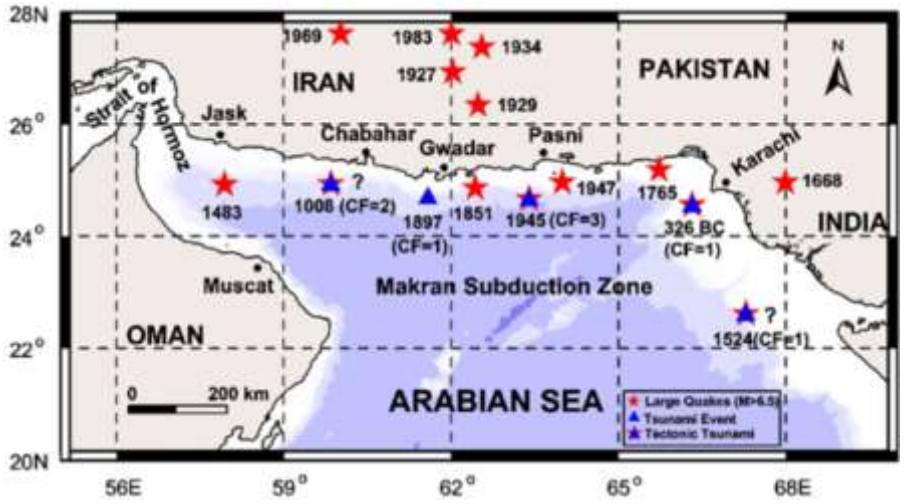
ردیف	تاریخ(	عرض جغرافیایی(شمالی)	طول جغرافیایی شرقی	عمق کانونی(کیلوتر)	بزرگی[a] M_s	بزرگی[b] M_w	بزرگی[c]
۱	۳۲۶پیش از میلاد	۲۴	۶۷.۳۰				سونامی قوی تولید شده
۲	۱۰۰۸-۵	۲۷٫۷[d].	۶۰۵۲٫۳[d].				۹-۸
۳	۱۴۸۳-۱۲-۱۸	۲۴٫۹	۵۷٫۹				۱۰
۴	۱۶۶۸-۵	۲۵	۶۸				۹-۸
۵	۱۷۶۵	۲۵٫۴	۶۵٫۸				۹-۸
۶	۱۸۵۱-۴-۱۹	۲۵٫۱	۶۲٫۳				۹-۸
۷	۱۹۲۷-۷-۷	۲۷	۶۲		۶٫۵		
۸	۱۹۲۹-۹-۳	۲۶٫۴	۶۲٫۳		۶٫۵		
۹	۱۹۳۴-۶-۱۳	۲۷٫۴۳	۶۲٫۵۹	۳۵	۷		
۱۰	۱۹۴۵-۱۱-۲۷	۲۴٫۵	۶۳	۲۵	۸٫۳		
۱۱	۱۹۴۷-۸-۵	۲۵٫۱	۶۳٫۴	۳۵	۷٫۶		
۱۲	۱۹۶۹-۱۱-۷	۲۷٫۹	۶۰٫۱	۳۵	۶٫۵		
۱۳	۱۹۸۳-۴-۱۸	۲۷٫۷۹	۶۲٫۰۵	۶۴		۷	

a: بزرگی امواج سطحی؛

b: بزرگی لحظه؛

c: تعریف شده یا مرکالی.

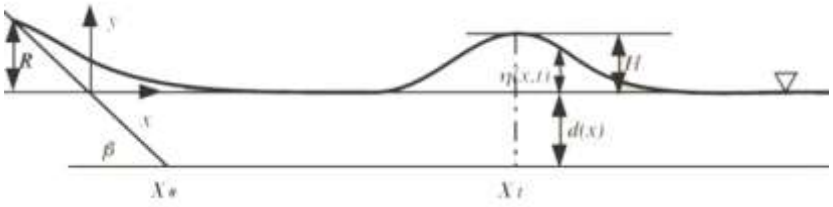
[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۵. زلزله‌های بزرگ تاریخی و ثبت شده دستگاهی از زون سابداکشن مکران (بزرگی ۶.۵ <) به همراه سونامی‌های تاریخی. محل زلزله‌های ۱۰۰۸ و ۱۵۲۵ به طور دقیق مشخص نیست(Heidarzadeh, *et.al.*, ۲۰۰۷).

برای مدل‌سازی سونامی و موج حاصل از آن از نرم‌افزار Commit و فرض بلوک‌های ۱۰۰*۵۰ کیلومتر استفاده گردیده است. فرمول‌های ذیل مبنای کار نرم‌افزار برای مدل‌سازی سونامی است. با توجه به این فرمول، تقریب رفتار موج در مناطق ساحلی به نمایش در آمده است. η دامنه، dعمق موجی که هنوز شکسته نشده و u، v به ترتیب سرعت میانگین موج در زمینه‌ی x و y هستند:

h= η+ d



$$h_t + (uh)_x + (vh)_y = 0$$
$$u_t + uu_x + vu_y + gh_x = gd_x$$
$$v_t + uv_x + vv_y + gh_y = gd_y$$

$$d(x, y, t) = d_0(x, y, t), t \le t_0$$
$$d(x, y, t) = d_0(x, y, t_0), t \le t_0$$

در تکنیک بخش‌بندی (Yanenko, ۱۹۷۱)، پاسخ عددی مسئله دوبعدی به پاسخ دو سری معادله یک بعدی تقسیم می‌گردد. این امر با تقسیم سیستم معادلات حاکم به دو بخش محقق می‌گردد که هر یک دارای پارامترهای یکی از ابعاد فضایی هستند.

$$\begin{cases} h_t + (uh)_x = 0 \\ u_t + uu_x + gh_x = gd_x \\ v_t + uv_x = 0 \end{cases} \qquad \begin{cases} h_t + vh_y = 0 \\ v_t + vv_y + gh_y = gd_y \\ u_t + vu_y = 0 \end{cases}$$

از سوی دیگر، با توجه به تئوری تفاوت محدود داریم:

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

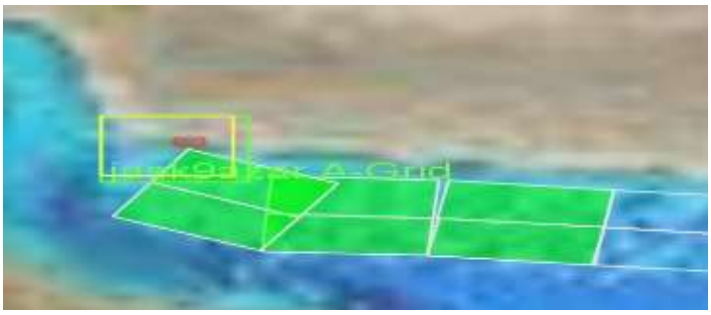
$$\frac{\Delta_i p_i^n}{\Delta t} + \frac{1}{2\Delta x}\left[\lambda_{i+\frac{1}{2}}^n(\Delta_{i+\frac{1}{2}} + \Delta_{i-\frac{1}{2}})p_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x}\lambda_{i+\frac{1}{2}}^n\Delta_{i+\frac{1}{2}}(\lambda_{i+\frac{1}{2}}^n\Delta_{i+\frac{1}{2}}p_i^n)\right] = \frac{g}{2\Delta x}\left[(\Delta_{i+\frac{1}{2}} + \Delta_{i-\frac{1}{2}})d_i^n - \frac{\Delta t}{\Delta x}\lambda_i^n\Delta_{i+\frac{1}{2}}\Delta_{i+\frac{1}{2}}d_i^n\right]$$

روی مرز

و شرط پایداری در این شبکه به شکل زیر خواهد بود.

$$\Delta t \le min\frac{\Delta x_i}{|u_i| + \sqrt{gh_i}}$$

در این تحقیق زلزله‌ای به قدرت ۸/۳ همانند زلزله ۱۹۴۵ پاکستان در سواحل جاسک بازسازی شد. در این مدل‌سازی، از سه مرحله‌ی شبکه‌بندی با دقت‌های متفاوت استفاده شد. شبکه‌ی A با سلول‌های حدود ۳۶۰۰ متر در ابعاد منطقه‌ای، شبکه‌ی B با سلول‌های حدود پانصد متر و شبکه C دارای سلول‌های سی متری به طور محلی در نظر گرفته شد (شکل ۶). شبکه C، که محدوده‌ی جاسک را پوشش می‌دهد، با سلول‌های کوچک‌تر برای محاسبه دقیق‌تر رفتار موج در مرزها و داخل سلول در نظر گرفته شد. با فرض زلزله‌ای به قدرت ۸/۳ ریشتر (که در سال ۱۹۴۵ در پاکستان به وقوع پیوسته) و حرکت ۶ بلوک مورد اشاره در محدوده فرورانش مجاور جاسک، هر بلوک میزان ۱۶ متر بالا می‌آید.



شکل ۶. بلوک‌ها و سلول‌های مورد بررسی در پهنه‌بندی خطر سونامی.

داده‌های هیدروگرافی مورد نیاز در منطقه از نقشه‌های آدمرالیتی ۱:۳۵۰۰۰۰ و ۱:۲۰۰۰۰ جاسک سازمان نقشه‌برداری کشور به صورت رقومی تهیه گردید و با استفاده از Spatial Analysis در محیط نرم‌افزار Arc/GIS نقشه عمق‌سنجی به صورت رستری تهیه گردید و، سپس، اطلاعات آن برای استفاده در مدل به صورت فایل‌های ASCII در آمد و وارد نرم‌افزار ComMIT شد. همچنین، نقشه‌ی ارتفاعی شهر جاسک در خشکی با استفاده از داده‌های ۱:۲۵۰۰۰ توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه گردید تصاویر ماهواره‌ای IRS LISS III و PAN با قدرت تفکیک پنج متر در این مطالعه استفاده شد. پس از انجام دادن تصحیح‌ها ژئومتری در نرم‌افزار ENVI، نتایج به دست آمده بر روی این تصاویر هم‌پوشانی داده شد و مناطق در معرض تهدید بر روی آن نشان داده شد.

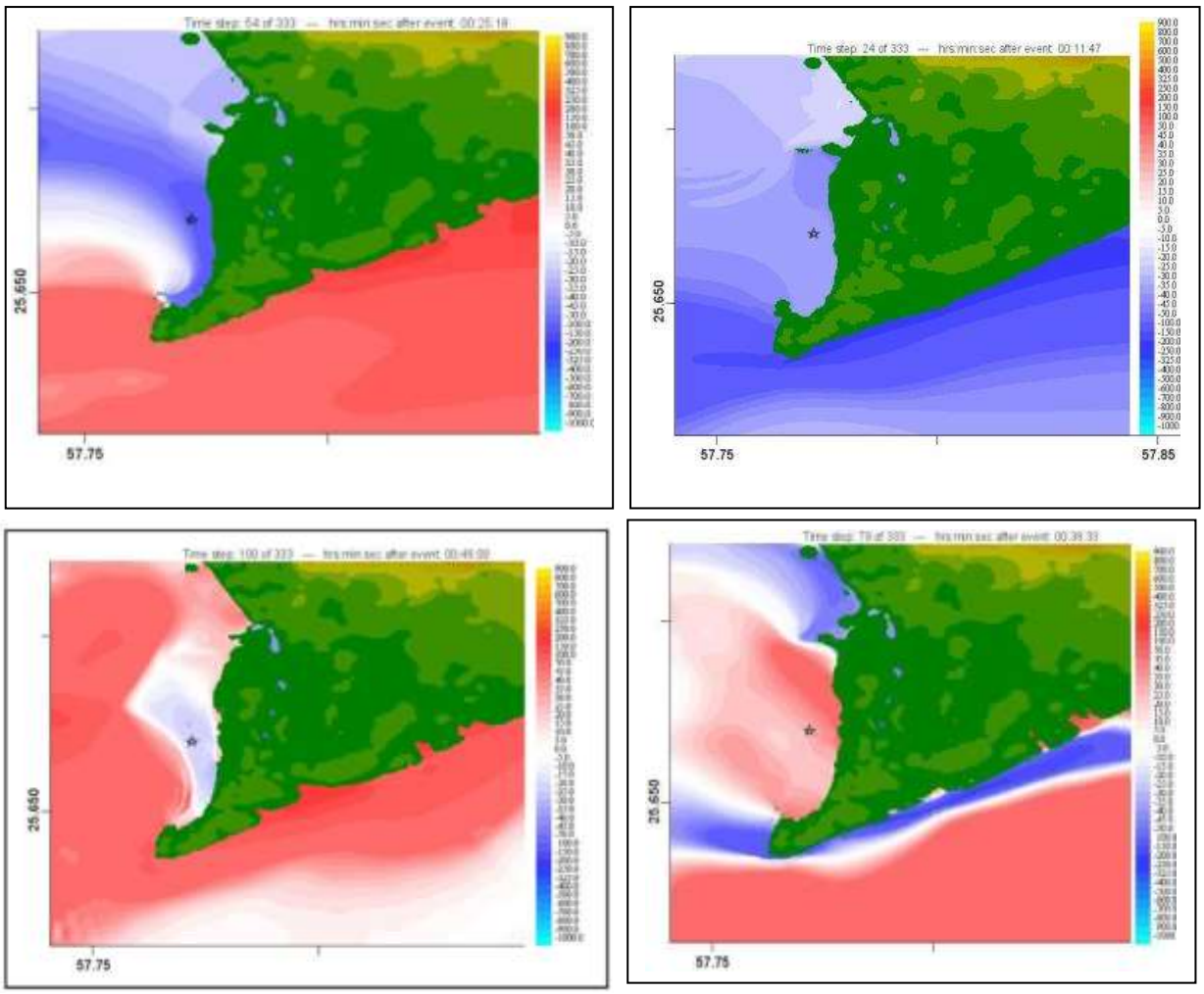
شرح و تفسیر نتایج

الف) امواج حاصل از سونامی بر سواحل جاسک

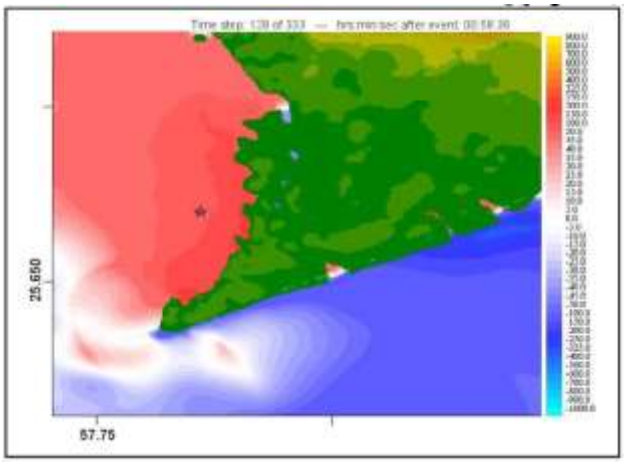
با توجه به مدل‌سازی انجام گرفته اولین تغییر پس از وقوع سونامی دریا کاهش سطح آب دریا است و این روند تا ۱۱ دقیقه پس از آن ادامه می‌یابد و، در این زمان، بیشترین میزان پس‌روی آب از خط ساحلی به میزان دو متر مشاهده می‌شود (شکل ۷، A). پس از این زمان، اولین موج به سمت جاسک هجوم می‌آورد. موج اول ابتدا به دماغه جاسک برخورد می‌کند و، سپس، کل ساحل شرقی جاسک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ارتفاع موج اول در برخورد با این منطقه در ۲۶ دقیقه پس از وقوع سونامی به ارتفاع دو متر می‌رسد و در ساحل شروع به پیشروی می‌کند (شکل ۷، B). این فرایند در ساحل غربی جاسک با تأخیر ده دقیقه‌ای روی می‌دهد. اولین موج بلند به ساحل غربی جاسک در ۳۶ دقیقه بعد از وقوع سونامی برخورد

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

می‌کند و ارتفاع آن به یک متر می‌رسد (شکل ۷، C) و این در زمانی است که در ساحل شرقی سطح آب به میزان چشم‌گیری و در حدود ۲/۵ متر پسروی می‌کند و موج دوم آماده هجوم به ساحل شرقی می‌شود و در حدود چهل دقیقه بعد از وقوع سونامی دومین موج به ساحل شرقی جاسک برخورد می‌کند. ارتفاع این موج در بیشینه‌ی خود در حدود ۲/۵ متر است (شکل ۷، D). هم‌زمان با برخورد این موج به ساحل شرقی در ساحل غربی جاسک شاهد پسروی آب به میزان ۱/۵ متر هستیم و درپی آن در ۴۶ دقیقه بعد از وقوع سونامی دومین موج به ساحل غربی برخورد می‌کند و ارتفاع آن به دو متر می‌رسد که قوی‌تر از موج اولی است. در این مرحله، آثار موج با خور یک بنی نیز می‌رسد و سطح آب آن را به میزان یک متر افزایش می‌دهد. بعد از یک ساعت و هشت دقیقه سومین موج نیز به ساحل جنوبی جاسک برخورد می‌کند. بیشینه‌ی ارتفاع این موج نیز به ۲/۵ متر می‌رسد (شکل ۷، E) . بعد از موج سوم امواج به طور پی در پی به ساحل برخورد می‌کنند، ولی قدرت اول را ندارند به تدریج ارتفاع این امواج کاهش می‌یابد.



[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]



شکل ۷. A: پس‌روی آب دریا در سواحل جاسک قبل از هجوم موج اول؛شکل B: هجوم موج اول به ساحل شرقی جاسک و پس روی شدید آب در ساحل غربی؛ شکل C: پس‌روی آب دریا در سواحل شرقی جاسک قبل از هجوم موج دوم و برخورد اولین موج به ساحل غربی؛ D: هجوم موج دوم به ساحل شرقی جاسک و پس روی شدید آب در ساحل غربی؛ E: هجوم موج دوم به ساحل شرقی جاسک و پس روی شدید آب در ساحل غربی.

ب) طبقه‌بندی سونامی با استفاده از ارتفاع موج

طبقه‌بندی‌های متفاوتی درباره‌ی سونامی وجود دارد. یکی آن‌ها طبقه‌بندی (Shoto,۲۰۰۳) است که با توجه به شدت زلزله و ارتفاع امواج با توجه به تأثیر سونامی بر سه مؤلفه‌ی: الف) تأثیر بر انسان؛ ب) تأثیر بر اشیا، از جمله قایق‌ها و ج) تخریب ساختمان‌ها به وجود آمده که آن‌ها را به ۱۲ طبقه تقسیم‌بندی کرده است (جدول ۲).

این طبقه‌بندی‌ها عبارت‌اند از I: غیر محسوس؛ II: محسوس؛ III: ضعیف؛ IV: نسبتاً قوی؛ V: قوی؛ VI: نسبتاً مخرب؛ VII: مخرب؛ VIII: بسیار مخرب؛ IX: ویرانگر؛ X: بسیار ویرانگر؛ XI: نابودکننده؛ XII: انهدام کامل (Gerassimos, ۲۰۰۱).

جدول (۲) ارتباط بین میزان تأثیرگذاری مؤلفه‌ها (Shoto,۲۰۰۳).

شدت تخریب	ارتفاع موج به متر	شدت سونامی
۰	۱.۰<	I-V
۱	۲.۰	VI
۲	۴.۰	VII-VIII
۳	۸.۰	IX-X
۴	۱۶.۰	XI
۵	۳۲.۰	XII

با توجه به تقسیم‌بندی صورت گرفته در مدل بالا امواج حاصل از سونامی در سواحل جاسک ارتفاعی بین ۱ تا ۳ متر را خواهند داشت. بنابراین، رده‌های VI: نسبتاً مخرب؛ VII: مخرب و VIII: بسیار مخرب را در بر خواهند داشت. ولی موج‌های اول و دوم حاصل از سونامی در سواحل جاسک ارتفاعی بیش از دو متر و حتی تا حدود ی سه متر را در بر خواهد گرفت. از این رو، دو رده VII: مخرب و VIII: بسیار مخرب در این منطقه بیشترین تأثیر را خواهند داشت. با استفاده از مدل‌سازی صورت گرفته، تأثیر آن‌ها بر روی ساحل به شکل زیر خواهد بود.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

VII: مخرب

بسیاری از کشتی‌های کوچک از بین خواهند رفت و کشتی‌های بزرگ‌تر نوسانات شدیدتری را بر اثر موج خواهند داشت. اشیا با اندازه‌های مختلف و، همچنین، لایه‌هایی از ماسه و قطعات سنگ بر روی ساحل آورده خواهند شد. بسیاری از سازه‌های ضعیف در خط ساحلی تخریب خواهند شد و تعدادی از آن‌ها به زیر آب خواهند رفت.

VIII: بسیار مخرب

اثرات این سطح از تخریب در دو گروه قرار دارند

الف: تعدادی از انسان‌هایی که در نزدیکی خط ساحلی قرار دارند به داخل دریا کشیده خواهند شد؛

ب: بیشتر کشتی‌های کوچک آسیب دیده و غرق خواهند شد. تعدادی از کشتی‌های بزرگ به روی ساحل پرتاب می‌شوند یا با کشتی‌های دیگر برخورد می‌کنند و باعث آسیب به آن‌ها می‌شوند. اشیا با اندازه‌های بزرگ به روی خط ساحلی پرتاب می‌شوند و، از پس آن، فرسایش شدیدی به همراه سیلاب بر روی سواحل حاکم خواهد شد. سازه‌های ساحلی ضعیف را امواج تخریب و از بین خواهد برد. شکل ۸ پهنه‌های بیشینه‌ی تأثیر موج سونامی را بر مناطق گوناگون شهر جاسک نشان می‌دهد.



شکل ۸. پهنه‌های تحت‌تأثیر بیشینه سونامی در شهر جاسک بر روی تصاویر ماهواره‌ای IRS LISS III.

نتایج به دست آمده از مدل‌سازی سونامی در سواحل بندر جاسک، که پهنه‌های تحت‌تأثیر آن را در دوره‌های پیشروی و پس‌روی امواج حاصل از سونامی در شکل ۸ نشان داده شده است، در نرم‌افزار ArcGis ترسیم و بر روی تصاویر ماهواره‌ای جاسک بازسازی گردید. از لحاظ میزان تأثیرپذیری از سونامی، شهر جاسک به سه بخش تقسیم می‌شود: الف) ساحل شرقی جاسک؛ ب) دماغه جاسک و ج) ساحل غربی. ساحل شرقی اولین منطقه‌ای است که با هجوم امواج و بزرگ‌ترین امواج مواجه، تا ارتفاع ۲/۵ متر، است و بیشترین میزان پیشروی امواج در ساحل با توجه به برآورد مدل‌سازی نرم‌افزار، در حدود ۱ کیلومتر (شکل ۷، D)، در این منطقه قرار دارد. در این منطقه، شیب در حدود یک درصد است و از لحاظ توپوگرافی شرایط مساعدی را برای خیزاب موج بر روی ساحل فراهم می‌آورد. در ساحل شرقی جاسک، تمرکز بسیار فراوانی از ادارات دولتی و نظامی، از جمله، فرودگاه جاسک و اسکله نیروی دریایی سپاه مشاهده می‌شود. در اولین موج‌های ایجاد شده‌ی سونامی این تأسیسات به‌شدت آسیب خواهند دید و این روند در موج‌های دوم و سوم نیز ادامه خواهد داشت. فرودگاه نظامی جاسک و اسکله نیروی دریایی سپاه کامل به زیر آب خواهد رفت و بیشترین میزان پیشروی موج در ساحل شرقی نیز در محدوده‌ی فرودگاه جاسک صورت خواهد گرفت. کمترین میزان پیشروی موج در جاسک مربوط به دماغه

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

جاسک است، زیرا این منطقه بر روی سواحل بالاآمده[۱] ماسه سنگی جاسک قرار دارد. این سواحل به صورت پرتگاهی با ارتفاع حدود دو متر شروع می‌شود و در بعضی نقاط به هشت متر نیز می‌رسد و بخش‌های زیادی از شهر جاسک بر روی این سواحل بالاآمده قرار گرفته است. یکی از دلایلی که باعث کم شدن میزان خسارات به شهر جاسک می‌شود همین سواحل بالاآمده است که مانند سدی در برابر امواج مقاومت می‌کنند. بیشترین میزان پیشروی آب در این ساحل در محل نیروی دریایی ارتش جاسک در حدود صد متر پیش‌بینی می‌شود و علاوه بر آن اسکله جاسک نیز آسیب‌هایی جدی را متحمل خواهد شد. امواج سونامی بیشترین تأثیر را بعد از ساحل شرقی بر این منطقه ساحل غربی جاسک می‌گذارند. ارتفاع موج به حدود دو متر خواهد رسید و با توجه به شیب بسیار کم منطقه، خیزاب موج در این منطقه نیز فراوان خواهد بود و پیشروی آب به حدود هفتصد متر نیز می‌رسد. البته به واسطه اینکه تأسیسات مهمی در این منطقه وجود ندارد میزان خسارات وارد شده به تأسیسات ساحلی کم خواهد بود، ولی مناطق مسکونی واقع در منطقه یکبنی در ساحل غربی را تحت تأثیر قرار خواهد داد.

نتیجه‌گیری

دریای عمان به دلیل اینکه محل برخورد پلیت‌های قاره‌ای با یکدیگر است و قرار گرفتن سابداکشن زون با عمق بیش از ۲۰۰۰ متر در نزدیکی ساحل ایران و نا آرامی پوسته‌ای این منطقه را افزایش داده است، در گذشته شاهد وقوع زلزله‌هایی شدید در بستر دریا و منطقه ساحلی بوده است. وقوع زلزله‌های بزرگ در بستر دریا و منطقه سابداکشن و وجود شرایط مناسب، از جمله ارتفاع آب، امکان وقوع سونامی‌های مخرب را در سواحل دریای عمان و تنگه هرمز فراهم می‌آورد. از این رو، نواحی ساحلی ایران در برابر سونامی‌ها بسیار آسیب‌پذیرند و بررسی دقیق تأثیر این پدیده بر روی خطوط ساحلی امری بسیار ضروری است. شهرهای مهمی چون بندرعباس، جاسک و چابهار،واقع در نواحی ساحلی دریای عمان، قطب‌های اقتصادی و تجاری ایران محسوب می‌شوند که در برابر وقوع مخاطرات طبیعی دریایی بسیار آسیب‌پذیر هستند. نمونه بارز آن را می‌توان در زمان وقوع طوفان حاره‌ای گونو مشاهده کرد که شهرهای ساحلی دریای عمان خسارات بسیار فراوانی را متحمل شدند (صالحی پور و نژاد افضلی، ۱۳۸۶). وقوع حوادث دریایی همانند سونامی بدون شک خسارات بسیار شدیدتری را بر این مناطق تحمیل خواهد کرد. از این رو، در این تحقیق سعی بر این شد با استفاده از پیشینه‌ی وقوع سونامی‌های گذشته، مدل‌سازی را بر روی منطقه نمونه آزمایشی جاسک به اجرا درآوریم.

نتایج به دست آمده از این تحقیق در شهر جاسک نشان‌دهنده آثار بسیار مخرب این پدیده در این شهر است و تأسیسات زیربنایی این شهر را با آسیب جدی مواجه خواهد ساخت. بیشترین خسارات متوجه ساحل شرقی جاسک خواهد شد و علت آن این است که مستقیم در معرض امواج سونامی قرار دارد و شرایط خیزاب موج به دلیل شرایط توپوگرافی در این منطقه فراهم است. سونامی دماغه جاسک را به دلیل ارتفاع از سطح دریا و ساحل غربی جاسک را به دلیل کاهش تأثیر موج سونامی بر اثر برخورد با دماغه و انحراف آن با تأخیر زمانی بیشتر و ارتفاع موج کمتری به این مناطق می‌رسد و خسارات وارده به این منطقه کمتر از ساحل شرقی خواهد بود. آمادگی در برابر مخاطرات نوعی آمادگی است که به منظور به حداقل رساندن زیان‌های جانی و مالی ناشی از شروع مخاطره‌ای به‌کار گرفته می‌شود. این آمادگی‌ها شامل این موارد است:

۱. شناسایی مناطق با حرکت‌های مخاطره‌آمیز؛
۲. آگاهی مردم محلی از مخاطره؛
۳. توسعه‌ی پایدار زیر ساخت‌ها و
۴. برنامه‌ریزی جامع برای واکنش‌های به موقع و مؤثر فوری از سوی افراد و گروه‌ها (مقیمی،۱۳۹۳).

با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

---

[۱]- Rised Beach

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

۱. با توجه به اینکه نوار ساحلی شرقی جاسک بیشترین آسیب را از سونامی متحمل می‌شوند توصیه می‌شود:
الف) ادارات مهم دولتی، از جمله فرمانداری، شهرداری، نیروی انتظامی و تشکیلات امداد و نجات، در بخش مرکزی شهر متمرکز شوند تا در صورت وقوع سونامی امکان مدیریت بحران از این مراکز فراهم باشد؛
ب) برنامه توسعه آتی شهر به سمت شمال شبه‌جزیره‌ی جاسک هدایت شود و از ساخت و سازهای غیرمجاز در محدوده‌ی شرقی و غربی شهر جلوگیری به عمل آید؛
ج) فرودگاه جاسک خطرناک‌ترین منطقه‌ی ساحلی جاسک در مقابل هجوم امواج سونامی خواهد بود. از این رو، از ادامه‌ی ساخت و گسترش این فرودگاه جلوگیری شود و محل جدیدی برای آن پیش‌بینی گردد؛
د: محل اتصال خط لوله نفت به دریای عمان و تجهیزات آن در دماغه جاسک تعبیه شود.
۲. احداث سیستم هشدار سونامی می‌تواند میزان خسارات وارد شده را بسیار کاهش دهد. هنگامی که سونامی رخ دهد یا پیش‌بینی شود، مراکز هشدار مراکز محلی مثل مراکز هواشناسی به فعال‌سازی به اعلان هشدار سونامی می‌پردازند و تمام شبکه‌های تلویزیونی و رادیویی آن را اعلان می‌دارد که از این طریق می‌توان میزان خسارات جانی را در منطقه کاهش داد (محمد خانی، ۱۳۸۸).
۳. تمهیدات لازمی برای رویارویی مناسب با این پدیده اتخاذ شود از جمله:
الف) کاهش انرژی موج سونامی با موج‌شکن، دیوار یا سد دریایی و دروازه‌های آبی؛
ب) اقدامات لازم برای کاهش آسیب و خرابی ناشی از جاری شدن سیل با استفاده از دیوارها و دروازه‌های جزر و مدی؛
ج) تمهیدات لازم برای تخلیه‌ی ایمن ساکنان از طریق احداث پناهگاه‌های سونامی، اطلاع‌رسانی درباره‌ی خطر سونامی و تهیه‌ی نقشه‌ی مخاطرات سونامی؛
د) اقدامات ایمنی برای بازسازی ویرانی‌های ناشی از سونامی (Murty and Bapat, ۱۹۹۹) .
۴. هدف ژئومورفولوژی شهری درک متقابل آثار فرایندهای شهری و ژئومورفولوژی و، سرانجام، خدمت به مردم و رفاه آن‌هاست. آگاهی و استانداردسازی برای شهرها و سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزان شهری از اهداف دیگر است (مقیمی، ۱۳۸۷). تهیه‌ی نقشه‌ی بزرگ مقیاس ژئومورفولوژی شهر جاسک می‌تواند رهنمودهای بسیار ارزنده‌ای درباره‌ی مدیریت مخاطرات شهری در اختیار برنامه‌ریزان و مسئولین شهری قرار دهد.

سپاسگزاری
این مقاله مستخرج از طرحی با حمایت مالی مدیریت زمین‌شناسی دریایی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و طرح پژو هشی شماره ۴۱۰۷۰۲۲/۰۱/۰۴ معاونت محترم پژوهشی دانشگاه تهران فراهم شده است. از این رو، از این نهادها تشکر و قدردانی می‌کنیم.

منابع

ابراهیمی، بابک و هادی زارع. ۱۳۸۶. نگاهی کاربردی به ضرورت ایمن‌سازی سواحل بندری ایران. *نشریه پیام دریا*، **۱۶۳**: ۹۰- ۹۹.
حیدر زاده، محمدرضا؛ پیروز دولتشاهی، محمد حاجی‌زاده؛ ناصر ذاکر؛ محمد مختاری.۱۳۸۷. بررسی تاریخچه‌ی رخداد سونامی و ارزیابی پتانسیل سونامی‌خیزی منطقه‌ی فرورانش مکران در سواحل دریای عمان. *نشریه علوم زمین*، . **۶۸**: ۱۵۰ – ۱۶۹.
عقیلی، نفیسه و علی‌اکبر آقا کوچک. ۱۳۸۷. بررسی رفتار سکوهای دریایی تحت اثر موج سونامی، *چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران*،تاریخ برگزاری دانشگاه تهران. صفحات مجموعه مقالات.
صالحی پور، علیرضا و کرامت نژاد افضلی. ۱۳۸۶. *بررسی طوفان گونو خرداد ۱۳۸۶ و تأثیر آن بر ژئومورفولوژی خطوط ساحلی دریای عمان. سازمان زمین‌شناسی کشور*، مدیریت زمین‌شناسی دریایی.
محمدخانی، نوروز.۱۳۸۸. امواج عظیم سونامی. *نشریه بندر و دریا*، **۲۲** :۲۴- ۲۸.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

مقیمی،ابراهیم. ۱۳۹۱. *ژئومورفولوژی شهری*. انتشارات دانشگاه تهران.

مقیمی، ابراهیم.۱۳۹۳. *دانش مخاطرات*. انتشارات دانشگاه تهران.

Ambraseys, N.N. and Melville, C.P. ۱۹۸۲. *A History of Persian Earthquakes*. Cambridge University Press. London.

Borrero, Jose C. ۲۰۱۳ .*Solomon Island Tsunami on the West Coast of New Zealand*.

Dorostian. A.; Gheitanchi, M. R. ۲۰۱۰ . *Seismicity of Makran.* College of Science and Geophysics, Islamic Azad University. North Tehran Branch, Iran.

Løvholt, F. ; Pedersen, G. and Glimsdal,S. ۲۰۱۰. Coupling of Dispersive Tsunami Propagation and Shallow Water Coastal. *The Open Oceanography Journal*,٤:٧١-٨٢.

Gerassimos, A. ۲۰۰۱. *A proposal for a new tsunami intensity scale*. University Netherlands technology Proceedings, ٥:١-٥.

GEOMAR, Germany. ۲۰۰۰. Cruise (SONNE-١٢٣*).* University of Cambridge and the National Institute of Oceanography, Pakistan.

Heidarzadeh, M. ; Moharram, D. ; Pirooz, N.H. ; Zaker Ahmet, C.; Yalciner; Mokhtari, M. Esmaeily, A. ۲۰۰۷. Historical tsunami in the Makran Subduction Zone off the southern coasts of Iran and Pakistan and results of numerical modeling. *Ocean Engeenering*, ٣٥: ٧٧٤–٧.

Murty,T. and, Bapat, A. ۱۹۹۹. *Tsunami on Coastline of India.* International Tsunami Symposium, Honolulu, Hawaii USA.

Carayannis, P. ۲۰۰۷. *Potential of Tsunami generation along The Makran Subduction Zone In The Northern Arabian Sea*. *Case study: The earthquake and Tsunami of Novemver* ۲۸. Platt, J. P.; Leggett, J. K. ;Young, J.; Raza, H; Alam, S. ۱۹۸٥. *Large-scale sediment under plating in the Makran accretionary prism Southwest Pakistan*. *Geology,* ١٣:٥٠٧-٥١١.

Regard, V. ; Bellier, O. ; Thomas, J.C. ; Abbassi, M.R.; Mercie, J. L. ; Shabania, N. E.; Feghhi Kh. ; Soleymani, Sh. Bonnet, S.; Bourlès, D. L.; Braucher, R; and Martinod, J. ۲۰۰۳. Tectonics of a lateral transition between subduction and collision: The Zagros-Makran Transfer Deformation Zone (SE Iran). European Geophysical Society, *Journal of Geophisics Researches*, ٥: ١٢-١٩.

Sujit K.D. ۲۰۰۷. *Simulation of Tsunami inundation by ComMIT Model: Bangladesh Perspective*. UNESCO-IOC Training Course on Tsunami Numerical Modeling Course II – Tsunami Inundation Modeling, Bangkok, Thailand.

Shuto, N. ۱۹۹۳.*Tsunami Intensity and disaster*. In: *Tsunami in the World,* ١٩٧-٢١٦, Edited by Kluwer, S.T. Academic Publishers, Dordrecht.

Tang, L. ;Titov, V.V. and Chamberlin, C.D. ۲۰۰۹. Development, testing, and applications of site-specific tsunami inundation models for real-time forecasting. *Journal of Geophysi Researches,*١١٤: ١-٢٢.

Titov, V.V. ۲۰۰۹. *Tsunami forecasting*. *The sea Tsunamies*. Harvard University Press, ١٥: ٣٧١–٤٠٠.

Yanenko, N.N. ۱۹۷۱.*The Method of Fractional Steps.* Springer, New York,

Wei, Y. ; Bernard, E.N. ; Tang, L. ; Weiss, R. ; Titov, V.V. ; Moore, C. ; Spillne, M.; Hopkins, M. ; KA ˆ N. and Lu, U. ۲۰۰۸. Real time experimental forecast of the Peruvian Tsunami of August ۲۰۰۷. *Geophysics Research Letters*, ٣٥: ١-٧.

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]

[Downloaded from c4i2016.khu.ac.ir on 2026-10-30]