J. Oceanography (JOC). 11 (44): 1-17, Winter 2021

Journal of Oceanography
Homepage: joc.inio.ac.ir

REVIEW PAPER (Engineering)

Tsunami Warning System Using of Internet of Things

Parsi, M. [*,1]***, Akbarpour Jannat, M.R.*** [2]

[1] *M.Sc. Information of Technology Engineering, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS); Tehran, Iran*

[2] *Associate Professor, Faculty of Civil Engineering, Marine Engineering and Technology Research Center, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS); Tehran, Iran*

ARTICLE INFO

Code: A-10-1582-1

Article History:

Received: 22 September 2020
Revised: 15 November 2020
Accepted: 29 November 2020

Keywords:
Internet of Things (IoT)
Tsunami
Wireless sensor networks
Early warning system
Time series

*Corresponding author:
m.parsi@inio.ac.ir
0000-000-7699-4636

ABSTRACT

Background and Objectives: One-third of the earth's surface is covered by water, with the oceans having the largest share. The devastating tsunami that struck Southeast Asia on December 26, 2004, reminded the world of the destructive power of tsunamis. So it is essential to provide some warning system to notify people in coastal regions to start evacuation procedures, effectively reducing collateral damage. Tsunami early detection and warning systems have proved to be of utmost importance, especially after the destructive tsunami that hit Japan in March 2012.

Methods: A earthquake detection system & tsunami warning system (TWS) is used to detect a tsunami in advance and issue warnings to prevent loss of life and damage. The operating parts of the tsunami warning systems currently implemented in other basins are composed of three main components: a real-time seismological network for earthquake detection and characterization, a real-time sea-level network (tide gages and tsunameters) for tsunami confirmation and measurement, and tsunami warning centers for data processing and message dissemination.

Findings: Today, Early Warning System (EWS) to predict tsunamis use the results of modeling and numerical simulations, tsunami gauges, seawater changes, tidal fluctuations, waveform, seismic networks, etc., which are very time-consuming and costly, and their data are limited to a few points; While sending and receiving data by information technology and the Internet of Things, is much faster and more cost-effective. Also, the Capacity of data received it's much more comprehensive than the specified area and is not limited to specific points. The development and use of these systems should be part of national programs to reduce the destructive effects of disasters, reduce vulnerability, and minimize deaths from marine hazards.

Conclusion: IoT technologies based on a much smaller network, cheaper, faster, and shorter time have become an essential part of crisis management and natural disaster management strategies. By strategically placing wireless sensor networks at critical points in the sea, up-to-date data can be used to assess the location of local points during a tsunami. These data can be fed from forecasting models (based on the IoT cloud platform) and used to give early warnings of potential disasters. Modern humans must use new technologies such as the Internet of Things, cloud platforms, artificial intelligence and to replace existing technologies.

10.52547/joc.11.44.1

©2021 JOC. All rights reserved

NUMBER OF TABLES	NUMBER OF FIGURES	NUMBER OF REFERENCES
2	7	۲۶

مقاله مروری (مهندسی)

سامانه هشدار سونامی با استفاده از IOT

مریم پارسی *[1]، محمودرضا اکبرپور جنّت [2]

[1] کارشناس‌ارشد مهندسی فناوری‌اطلاعات، پژوهشگاه ملّی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

[2] عضو هیأت علمی و رئیس پژوهشکده فناوری و مهندسی دریا، پژوهشگاه ملّی اقیانوس‌شناسی و علوم جوی، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۱ مهر ۱۳۹۹
تاریخ بازبینی: ۲۵ آبان ۱۳۹۹
تاریخ پذیرش: ۹ آذر ۱۳۹۹

واژگان کلیدی:
اینترنت اشیاء (IoT)
سونامی
شبکه حسگر بی‌سیم
سامانه هشدار سریع
سری زمانی

*نویسنده مسئول
m.parsi@inio.ac.ir
0000-000-7699-4636

چکیده

پیشینه و اهداف: یک سوم سطح زمین از آب پوشیده شده که در این میان، اقیانوس‌ها بیشترین سهم را دارند. زمین‌لرزه بزرگ اندونزی که در ۲۶ دسامبر ۲۰۰۴ درون اقیانوس هند رخ داد و جنوب‌شرقی آسیا را لرزاند و منجر به مرگ افراد زیادی در مناطق ساحلی کشورهای مختلف شد، قدرت ویرانگر سونامی‌ها را به جهانیان یادآور شد. بنابراین فراهم کردن نوعی ا امری ضروری است تا افراد بتوانند به موقع آن مناطق را تخلیه کرده و خسارات جانی و مالی حاصل از این بلایا کاهش یابد. پس از سونامی مخربی که در مارس ۲۰۱۲ در ژاپن رخ داد، ثابت شده است که سامانه‌های تشخیص و هشدار سونامی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند.

روش‌ها: از سامانه تشخیص زلزله و سامانه هشدار سونامی جهت شناسایی سونامی قبل از وقوع و صدور اخطار برای جلوگیری از خسارات جانی و مالی استفاده می‌شود. سامانه‌های هشدار سونامی دارای سه مؤلفه اصلی هستند: شبکه لرزه‌نگاری در زمان وقوع برای شناسایی و توصیف زلزله، شبکه نظارت بر سطح دریا در زمان وقوع (شامل سنجش جزر و مد و سونامی‌متر) برای اندازه‌گیری سونامی، و مراکز هشدار سونامی برای پردازش داده‌ها و انتشار پیام هشدار.

یافته‌ها: در سامانه‌های هشدار سریع سونامی از نتایج مدلسازی و شبیه‌سازی عددی، بویه‌های سونامی‌سنج، تغییرات تراز آب دریا، نوسانات جزر ومدی، موج‌نگار، شبکه‌های لرزه‌نگاری و... استفاده می‌شود که بسیار زمان‌بر و پرهزینه بوده و داده‌های آنها محدود به چند نقطه مشخص شده است؛ در حالی‌که با استفاده از فناوری‌اطلاعات و اینترنت اشیاء، ارسال و دریافت داده‌ها بسیار سریع‌تر و مقرون به‌صرفه‌تر است. همچنین حجم داده‌های دریافتی نسبت به منطقه مشخص شده، بسیار وسیع‌تر بوده و محدود به نقاط مشخصی نیست. ایجاد و استفاده از این سامانه‌ها باید بخشی از برنامه‌های ملی کاهش اثرات مخرب بلایا و کاهش آسیب‌پذیری و به حداقل‌رسانی مرگ و میر ناشی از مخاطرات دریایی باشد.

نتیجه‌گیری: فناوری‌های اینترنت اشیاء با شبکه بسیار کوچک‌تر، ارزان‌تر، با سرعت بیشتر و زمان کوتاهتر به بخش مهم و بزرگی از استراتژی‌های مدیریت بحران و مدیریت حوادث طبیعی تبدیل شده است. با قرار دادن استراتژیک شبکه‌های حسگر بی‌سیم در نقاط کلیدی در دریا، می‌توان از داده‌های به‌روز برای بررسی وضعیت نقاط محلی در زمان وقوع سونامی استفاده کرد. این داده‌ها می‌توانند از مدل‌های پیش‌بینی (مبتنی بر بستر ابری IoT) تغذیه شده و برای دادن هشدارهای اولیه در مورد بلایای احتمالی استفاده شوند. انسان امروز باید فناوری‌های نوین و جدیدی مانند اینترنت اشیاء، بستر ابری، هوش مصنوعی و... را جایگزین فناوری‌های موجود نماید.

مقدمه

یک سوم سطح زمین از آب پوشیده شده که ما آن را اقیانوس، رودخانه، دریاچه و حوضچه می‌نامیم که در این میان، اقیانوس‌ها بیشترین سهم را دارند. بنابراین، مطالعه رفتار آن و میزان تخریبی که می‌تواند در اثر بلایای طبیعی مانند طوفان‌ها، سیل و سونامی[1] ایجاد شود، موضوع مهمی است که نیازمند توجه است [۱]. منطقه ساحلی از جمله مناطقی است که از تنوع بالقوه منابع طبیعی و ارزش اقتصادی بالایی برخوردار است و از طرفی بین اکوسیستم‌های خشکی و دریا قرار دارد. بنابراین تحت تأثیر تغییراتی که در خشکی یا دریا به‌وجود می‌آید قرار می‌گیرد و در برابر سونامی نیز بسیار آسیب‌پذیر است [۲]. زمین‌لرزه بزرگ اندونزی که در ۲۶ دسامبر ۲۰۰۴ درون اقیانوس هند رخ داد و جنوب‌شرقی آسیا را لرزاند و منجر به مرگ افراد زیادی در مناطق ساحلی کشورهای مختلف شد، قدرت ویرانگر سونامی‌ها را به جهانیان یادآور شد. سونامی‌ها اغلب ناشی از زمین‌لرزه‌های زیر آب هستند که مقدار زیادی آب را جابجا می‌کنند. این جابجایی نیرویی را ایجاد می‌کند که سرعتش ۵۰۰ مایل در ساعت است و منجر به تولید امواجی با طول موج بیشتر از ۳۰ متر ارتفاع می‌شود [۱]. بنابراین فراهم کردن نوعی سامانه هشدار جهت اطلاع‌رسانی به مردم مناطق ساحلی امری ضروری است تا افراد بتوانند به موقع آن مناطق را تخلیه کرده و خسارات جانی و مالی حاصل از این بلایا کاهش یابد [۳].

پس از سونامی مخربی که در مارس ۲۰۱۲ در ژاپن رخ داد، ثابت شده است که سامانه‌های تشخیص و هشدار سونامی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار هستند. چنین سامانه‌هایی برای آگاه‌سازی مسئولان از هرگونه خطر سونامی و میزان خطر احتمالی آن به‌منظور اطلاع‌رسانی به عموم مردم بسیار مهم هستند تا مسئولان بتوانند تصمیم درستی بگیرند و به عموم مردم در مورد اقدامات مورد نیاز برای نجات جانشان اطلاع بدهند [۴]. ما در دوره‌ای زندگی می‌کنیم که اینترنت شکل جدید به دنیای ما بخشیده و نه تنها ارتباطات انسان‌ها با یکدیگر را شامل می‌شود بلکه امروزه هر شیء دیجیتالی نیز از طریق اینترنت می‌توانند به یکدیگر وصل می‌شوند و در هرجا و هر زمان در دسترس بوده و با هم ارتباط برقرار می‌کنند. اشیاء نقش مهمی در زندگی انسانی دارد که می‌تواند بسیاری از موقعیت‌های بشری را تسهیل سازد و به ما کمک می‌کند تا زندگی بهتری داشته باشیم. این برنامه‌های کاربردی از ماشین‌های هوشمند گرفته تا ویرانه‌های موجود در طبیعت را شامل می‌شود که ممکن است به واسطه خود طبیعت یا انسان ایجاد شده باشد [۵]. امروزه به‌وسیله «*اینترنت اشیاء*[2]» می‌توان داده‌های مختلفی را از مکان‌های دوردست جمع‌آوری و تجزیه و تحلیل کرد. حسگرهایی که در زیر دریاها و اقیانوس‌ها مستقر شده‌اند نیز از جمله اشیایی هستند که می‌توان به‌وسیله اینترنت داده‌های آنها را جمع‌آوری کرد که از این حسگرها برای تشخیص سونامی نیز استفاده می‌شود [۶]. در این مقاله راهکارهای مدرنی که جهت تشخیص سونامی به‌وسیله اینترنت اشیاء مورد استفاده قرار می‌گیرند، مورد بررسی واقع شده است. **در** جدول (۱) راهکارهای مدرن و جدید تشخیص سونامی بررسی شده‌اند.

یافته‌ها

۱. سونامی

به مجموعه‌ای از موج‌های بسیار بزرگ اقیانوسی، «سونامی» می‌گویند. سونامی، نتیجه توده زیادی از آب است که در مدت زمان کوتاهی جابجا می‌شوند و به‌طور معمول با زمین‌لرزه‌های زیر دریا، فوران آتشفشانی یا رانش زمین در اقیانوس، در یک دریا یا دریاچه‌ای بزرگ رخ می‌دهد و همچنین در اثر مواد زیادی که به‌طور ناگهانی وارد آب می‌شوند، رخ می‌دهد. شهاب‌سنگ‌ها نیز می‌توانند سونامی‌های بزرگی را به‌وجود آورند. درهر صورت جابجایی ناگهانی آب، توده بزرگی از موج‌ها را به‌وجود می‌آورد که طول موج بسیار طولانی دارند که تا صدها کیلومتر می‌رسد [۷]. حتی این امواج می‌توانند به هزاران مایل دورتر از محلی که تشکیل شده‌اند، سرایت کنند. سونامی از جمله بلایای طبیعی است که خسارات جانی و مالی بالایی دارد و می‌تواند همانند سونامی برزگی که در اثر زلزله در اقیانوس هند در سال ۲۰۰۴ رخ داد یا سونامی توهوکو سال ۲۰۱۱ ژاپن منجر به ویرانی، خسارات شدید و به خطر افتادن جان افراد زیادی شود [۸]. تنها در سال ۱۸۵۰، سونامی باعث شد تا ۴۲۰,۰۰۰ نفر جان خود را از دست بدهند و بیلیون‌ها دلار خسارت به ساختمان‌ها و سکونت‌گاه‌هایی که در سواحل قرار داشتند، وارد شود. این درحالی است که هر سال یک‌بار سونامی در یک گوشه از جهان رخ می‌دهد. به‌عنوان مثال در تاریخ ۲۶ دسامبر ۲۰۰۶ سونامی منجر به از دست رفتن جان حدود ۱۳۰,۰۰۰ نفر در محدوده زمین‌لرزه و حدود ۵۸,۰۰۰ نفر در محدوده ساحلی دریا شد. در حال حاضر، پیش‌بینی زمان و مکان وقوع سونامی بعدی غیرممکن است زیرا سونامی به‌صورت ناگهانی اتفاق می‌افتد. سونامی بیشتر به دلیل زمین‌لرزه در دریا و نواحی ساحلی رخ می‌دهد.

۱-۱ سامانه هشدار سونامی[3]

با اینکه راهی برای متوقف کردن سونامی وجود ندارد اما این بدان معنا نیست که نمی‌توان جان افراد را نجات داد و در صورت به‌وجود آمدن سونامی، نمی‌توان از تلفات جلوگیری کرد. بلکه با کمک سامانه هشدار سونامی می‌توان متوجه رخ دادن سونامی شد و به عموم مردم

[1] Tsunami
[2] Internet of Things (IoT)
[3] Tsunami forecasting system

هشدار داد تا اقدامات مناسب را انجام داده و جان و مالشـان را نجات دهنـد. مفهـوم چنین سامـانه‌ای تشخیـص هر گونه فعـالیت لـرزه‌ای

جدول ۱: بررسی راهکارهای مدرن و جدید تشخیص سونامی

Table 1: Survey of the recent and modern techniques for Tsunami Detection

مقاله	الگوریتم/ قانون[1]/ راهکار[2] استفاده شده	دستاوردها
معماری شبکه حسگر برای تشخیص و پاسخ به سونامی [۱]	• الگوریتم شبکه عصبی • قانون انتشار مستقیم	این سامانه برای استفاده محدود قابل توجیه است. با این وجود برای طیف وسیعی از موقعیت‌ها حتی فراتر از سونامی کاربرد دارد. از جمله ویژگی این معماری، مقیاس‌پذیری و پاسخگویی در زمان واقعی است.
سامانه هشدار زودهنگام مبتنی بر اینترنت اشیاء برای پیش‌بینی سونامی [۳]	• سامانه پیشنهادی دارای بخش[3] رسپبری پای 3 مدل B • شبکه بی‌سیم ZigBee • شبکه‌های حسگر مانند: - حسگر دما برای اندازه‌گیری دما - حسگر فشار برای اندازه‌گیری فشار - پتانسیومتر برای اندازه‌گیری ارتفاع - حسگر لرزش برای اندازه‌گیری لرزش	این سامانه اندازه‌گیری کاملی از ویژگی‌های امواج دریایی را انجام می‌دهد و مکان‌هایی که توسط سونامی امکان دارد دچار خسارت شوند را تشخیص داده و هشدار سونامی را برای تمام مناطق اطراف ارسال می‌کند. این هشدار به تصمیم‌گیری در مورد اقدامات پیشگیرانه کمک می‌کند و تا حد زیادی باعث کاهش خسارات ناخواسته می‌شود.
یک سامانه تشخیص پیشرفته سونامی مبتنی بر SAR [۴]	• فیلتر وینر • نرم‌افزار متلب • میکروفن، بلندگو و کارت صدا	این طرح را می‌توان برای مطالعه میزان آسیب پس از سونامی مورد استفاده قرار داد و درصد خسارت را محاسبه کرد. این روش با استفاده از یک انتقال به شبکه‌های مبتنی بر IP و پیوندهای فیبر نوری باعث ارتقای زیرساخت‌های ارتباطی در سامانه‌های هشدار سونامی موجود می‌شود.
دستگاه هشدار زودهنگام و تشخیص بلایا مبتنی بر اینترنت اشیاء [۱۶]	• روتر Wi-Fi • بستر[4] ابری • حسگرها • میکروکنترلر LPC1313 • کنترلر CORTEX M4	گرچه نمی‌توان از وقوع زلزله یا سونامی جلوگیری کرد اما با هشدارهای به‌هنگام جهت آمادگی جامعه می‌توان خسارات ناشی از وقوع این بلایا را کاهش داد. Disaster-LINK، یک دستگاه هوشمند IoT است که در هنگام بروز بلایای طبیعی به‌عنوان یک سامانه هشدار و نظارت عمل می‌کند و با برقراری ارتباط از طریق اینترنت فعالیت می‌کند. این دستگاه از پشتیبانی Wi-Fi برخوردار است و از یک بستر ابری IoT استفاده می‌کند که به کنترل، نظارت و مدیریت دستگاه کمک می‌کند و با کمک این دستگاه می‌توان با هشدار به‌موقع، مردم را از بروز سونامی آگاه کرد.
بازیابی اطلاعات هوشمند برای تشخیص سونامی با استفاده از گره حسگر بی‌سیم [۱۷]	• بازیابی اطلاعات هوشمند با مطالعه زمینه‌های مغناطیسی • میدان‌های الکتریکی • شیب موج • انرژی و گرما	الگوهای قابل اندازه‌گیری که با استفاده از WSN از نظر پیام اطلاعاتی می‌توانند تشخیص داده شوند
روش چندشاخصه با استفاده از داده‌های فشار در زیر اقیانوس برای پیش‌بینی سونامی در زمان واقعی [۱۸]	• روش پیش‌بینی سونامی در زمان واقعی • امواج سونامی از ایستگاه های دریایی • ارتفاعات سونامی ساحلی از هر مدل منبع سونامی احتمالی • بانک سناریوی سونامی • شاخص‌های متعدد	داده‌های فشار از زیر اقیانوس از طریق شبکه رصد دریایی جمع‌آوری شده و توزیع مکانی و حداکثر ارتفاع سونامی محاسبه می‌شود. با استفاده از چندین شاخص می‌توان سونامی را در زمان واقعی تشخیص داد و از خسارات جانی جلوگیری کرد.
طراحی سامانه حسگر برای سامانه هشدار زودهنگام سونامی [۲۰]	• بستر اینترنت اشیاء • فرستنده از راه دور Dragino LoRa Shield • بُرد آردوینو (Arduino UNO) • ژیروسکوپ MPU-6050	سامانه هشدار زودهنگام سونامی برای تشخیص علایم سونامی از جمله زلزله، فوران آتشفشان در دریا و همچنین برگشت ناگهانی آب دریا و... به سامانه حسگر نیاز دارد. انتظار می‌رود حسگر دقیق‌تری برای پارامترهای سونامی و زلزله با انجام آزمایشات مناسب برای دوره بعدی انجام شود.

[1] Protocol
[2] Technique
[3] Module
[4] Platform

معمولی در زیر آب است تا به‌طور خودکار و با سرعتی زیاد در مورد اینکه امکان بروز زلزله و سونامی وجود دارد یا خیر اطلاع‌رسانی نماید.

پس از این فرآیند، اطلاع‌رسانی لازم باید توسط مرکز هشدار صادر شود تا افراد را درباره زلزله و خطر سونامی آگاه سازد [۱]. از سامانه تشخیص زلزله و سامانه هشدار سونامی جهت شناسایی سونامی قبل از وقوع و صدور اخطار برای جلوگیری از خسارات جانی و مالی استفاده می‌شود که از دو مؤلفه که از اهمیت یکسانی برخوردار هستند، تشکیل شده است. این دو مؤلفه عبارتند از: شبکه‌ای از حسگرها برای تشخیص سونامی‌ها و یک زیرساخت ارتباطاتی برای صدور هشدار به‌هنگام برای تخلیه مناطق ساحلی [۲].

در توسعه سامانه هشداردهنده سونامی، از راهکارهای خاصی برای اطمینان از بهره‌وری سرویس‌ها استفاده می‌شود به‌عنوان مثال زمان وقوع سونامی و سرعت عبور آن و همچنین روش‌هایی برای بهبود شبکه نظارت بر سطح دریا و تعیین سریع داده‌های لرزه‌نگاری استفاده می‌گردد.

سامانه‌های هشدار سونامی دارای سه مؤلفه اصلی هستند: یک شبکه لرزه‌نگاری در زمان وقوع برای شناسایی و توصیف زلزله، یک شبکه نظارت بر سطح دریا در زمان وقوع (شامل سنجش جزر و مد و سونامی‌متر) برای اندازه‌گیری سونامی، و یک مراکز هشدار سونامی برای پردازش داده‌ها و انتشار پیام هشدار؛ که با استفاده از این معیارها، موقعیت مکانی زمین‌لرزه مشخص می‌شود. پیش‌بینی زمان وقوع سونامی بسیار مهم است که این امر به کمک زلزله‌نگاری انجام می‌شود.

زمان شروع سونامی به‌صورت تقریبی است اما برای اعلان هشدار، زمان بسیار مهم است. همچنین ممکن است زمان شروع سونامی با حداکثر امواجی که بعد از آن ممکن است به‌وجود بیایند، مطابقت نداشته باشد و به همین دلیل از داده‌های زمان واقعی یا بلادرنگ استفاده می‌شود. باید امواج سطح دریا ارزیابی شوند. این داده‌ها از ایستگاه‌های سطحی روی دریا به‌طور مداوم و مستقیم به مرکز داده‌ها ارسال می‌شود. داده‌های ارسالی با تأخیر ۵ تا گاهی بیش از ۳۰ ثانیه تهیه می‌شوند. داده‌هایی که از طریق سامانه ارتباطات ماهواره‌ای جهانی ارسال می‌شوند، با تأخیر ۶ ثانیه‌ای دریافت می‌گردند. از آنجا که سرعت دریافت داده‌ها بسیار مهم است، در سال‌های آینده انتظار می‌رود تا میزان تأخیر فقط به ۱ تا ۲ ثانیه برسد که برای تشخیص سریع سونامی مطلوب است [۳]. از آنجا که زمان رسیدن سونامیِ پیش‌بینی شده باید در مدت زمان ۱۵ دقیقه از مبدأ زلزله صادر شود، منبع زلزله‌نگاری در ابتدا به‌عنوان منبع نقطه‌ای در نظر گرفته می‌شود.

۲-۱ مدل‌سازی سناریوهای سونامی

به‌صورت موردی به‌منظور ارزیابی اثرات سونامی احتمالی ناشی از گسل مکران در سواحل ایرانی دریای عمان و به‌صورت موردی بر روی خلیج چابهار، با استفاده از مدلسازی عددی، نتایج مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. با توجه به اینکه تعیین موقعیت دقیق زلزله و میزان شدت آن امکان‌پذیر نیست، لذا بررسی سناریوهای مختلف زلزله با در نظر گرفتن مختصات وقوع، بزرگی و ابعاد آن در شبیه‌سازی‌های عددی امری ضروری است (جدول ۲).

با توجه به ماهیت تصادفی موقعیت زلزله‌های تعیین شده و اینکه مشخص نیست به هنگام وقوع زلزله بخش غربی یا شرقی ناحیه مکران گسیخته شود، وقوع هر یک از زلزله‌ها در هر دو بخش غربی و شرقی ناحیه مکران در سناریوها در نظر گرفته شد (مرکز زلزله در زلزله‌های غربی مکران ۵۹/۷۲ و ۲۴/۷۵ درجه و در زلزله‌های شرقی آن ۶۴/۰۰ و ۲۴/۷۶ درجه فرض گردید).

جدول ۲: بررسی سناریوهای مختلف زلزله با در نظر گرفتن مختصات وقوع، بزرگی و ابعاد آن

Table 2: survey of different earthquake scenarios with its occurrence coordinates, magnitude and dimensions

شماره سناریو	بزرگی گشتاور زلزله (فرضی)	موقعیت ناحیه گسیخته	ابعاد ناحیه گسیخته			زاویه راستا	گشتاور زلزله (N.m)	بزرگی گشتاور زلزله از رابطه*
			طول (km)	عرض (km)	جابه‌جایی (m)			
۱	۹/۱	سراسر مکران	۵۰۰	۷۰	۲۵	۲۵۵	$۴/۷۲ \times ۱۰^{۲۲}$	۹/۱۱
			۴۰۰	۷۰	۲۵	۲۸۲		
۲	۸/۷	مکران غربی	۵۰۰	۵۰	۱۴	۲۸۲	$۱/۰۵ \times ۱۰^{۲۲}$	۸/۶۸
۳	۸/۷	مکران شرقی	۵۰۰	۵۰	۱۴	۲۵۵	$۱/۰۵ \times ۱۰^{۲۲}$	۸/۶۸
۴	۸/۳	مکران غربی	۳۰۰	۴۰	۸/۵	۲۷۵	$۳/۰۶ \times ۱۰^{۲۱}$	۸/۳۲
۵	۸/۳	مکران شرقی	۳۰۰	۴۰	۸/۵	۲۵۸	$۳/۰۶ \times ۱۰^{۲۱}$	۸/۳۲
۶	۸	مکران غربی	۲۰۰	۳۰	۵/۵	۲۷۶	$۹/۹۰ \times ۱۰^{۲۰}$	۸/۰۰
۷	۸	مکران شرقی	۲۰۰	۳۰	۵/۵	۲۶۸	$۹/۹۰ \times ۱۰^{۲۰}$	۸/۰۰
۸	۷/۵	مکران غربی	۱۰۰	۲۰	۳	۲۷۷	$۱/۵۰ \times ۱۰^{۲۰}$	۷/۵
۹	۷/۵	مکران شرقی	۱۰۰	۲۰	۳	۲۶۸	$۱/۵۰ \times ۱۰^{۲۰}$	۷/۵

البته با توجه به اینکه به هنگام رخداد زلزله با بزرگی ۹/۱ تمام طول گسل مکران گسیخته می‌شود، بنابراین برای بزرگی ۹/۱ تنها یک سناریو وجود خواهد داشت. به‌منظور تخمین ابعاد ناحیه گسیخته در هر سناریو، روابط تجربی [۴] که بر اساس مشاهدات ۲۴۴ زلزله

تاریخی حاصل شده و مقدار طول، عرض و لغزش ناحیه گسیخته را به بزرگی زلزله مرتبط می‌کند، استفاده می‌شود.

۱-۳ مدلسازی سناریوهای انتشار و پیشروی امواج

نحوه انتشار و پیشروی امواج سونامی تحت تأثیر ژرفاسنجی و توپوگرافی محدوده مورد مطالعه است. برای مدل‌سازی انتشار موج در آب عمیق می‌توان از داده‌های ژرفاسنجی با درشت‌نمایی در مرتبه کیلومتر استفاده کرد ولی، برای مدلسازی این امواج در مناطق نزدیک ساحل و پیشروی امواج در خشکی، باید از داده‌های با درشت‌نمایی در مرتبه چند ده متر استفاده نمود تا اثرات توپوگرافی و هیدروگرافی در پیشروی امواج به‌طور کامل لحاظ گردد. در این مطالعه، شبیه‌سازی انتشار و پیشروی امواج سونامی در دو حالت مدل کلی و مدل محلی به صورت زیر انجام می‌گیرد:

۱-۳-۱ مدل کلی یا سراسری

داده‌های ژرفاسنجی در این مدل، محدوده‌ی نسبتاً وسیعی از ناحیه‌ی ایجاد سونامی تا خشکی را دربر می‌گیرد. اجرای مدل کلی تنها برای مدت زمان پیشروی سونامی تا رسیدن امواج به منطقه مورد نظری است که از آن به بعد باید شبکه‌بندی ریزتری برای مطالعه موج در نظر گرفته شود، ادامه پیدا می‌کند (شکل ۱).

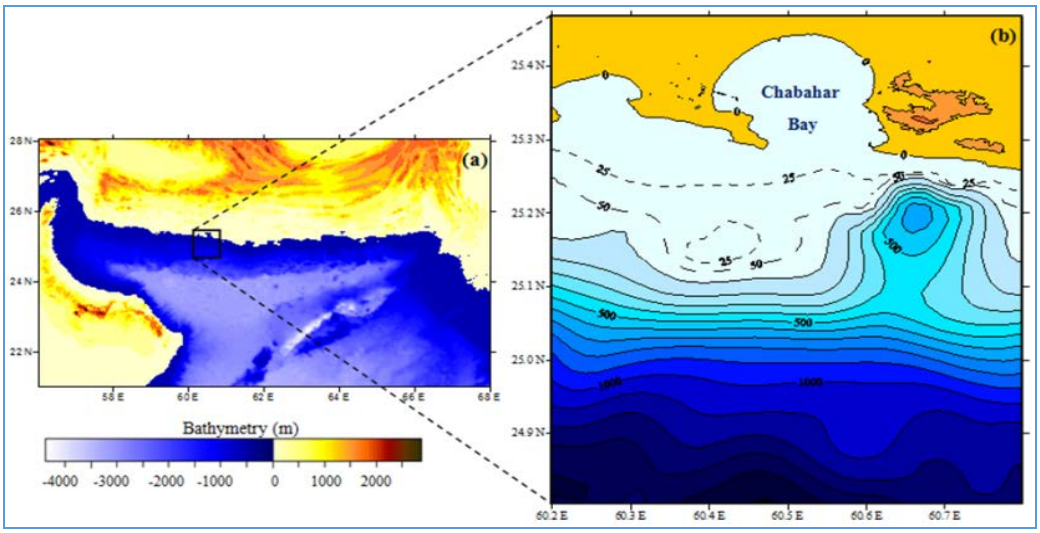
۱-۳-۲ مدل محلی

اجرای مدل محلی با اتمام شبیه‌سازی کلی شروع می‌گردد. خروجی‌های سطح تراز آب و مؤلفه‌های سرعت به‌دست آمده در آخرین گام زمانی شبیه‌سازی مدل کلی، به‌عنوان شرایط اولیه به مدل محلی اعمال می‌شود. محدوده جغرافیایی و درشت‌نمایی داده‌های خروجی از مدل کلی جهت استفاده در مدل محلی باید به ترتیب کاهش و افزایش یابد (شکل ۲).

۱-۴ مدلسازی سناریوهای انتشار و پیشروی امواج

نتایج مربوط به انتشار و پیشروی امواج سونامی برای سناریوهای مختلف و در زمان‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه بعد از وقوع زمین‌لرزه در شکل (۳) تشان داده شده است. موج سونامی در ابتدا و پس از آغاز انتشار، با دور شدن از منشأ کاهش پیدا می‌کند؛ اما ارتفاع امواج با نزدیک شدن به سواحل و کاهش عمق در اثر پدیده ژرفاکاستگی مجدداً بیشتر می‌شود.

با توجه به اینکه امواج سونامی به‌طور عمود در راستای گسل، یعنی تقریباً در راستای شمالی و جنوبی، منتشر می‌شوند، هنگامی که زلزله در بخش غربی ناحیه مکران رخ می‌دهد، امواج سونامی بسیار اندک به سواحل بخش شرقی مکران می‌رسند و بالعکس.

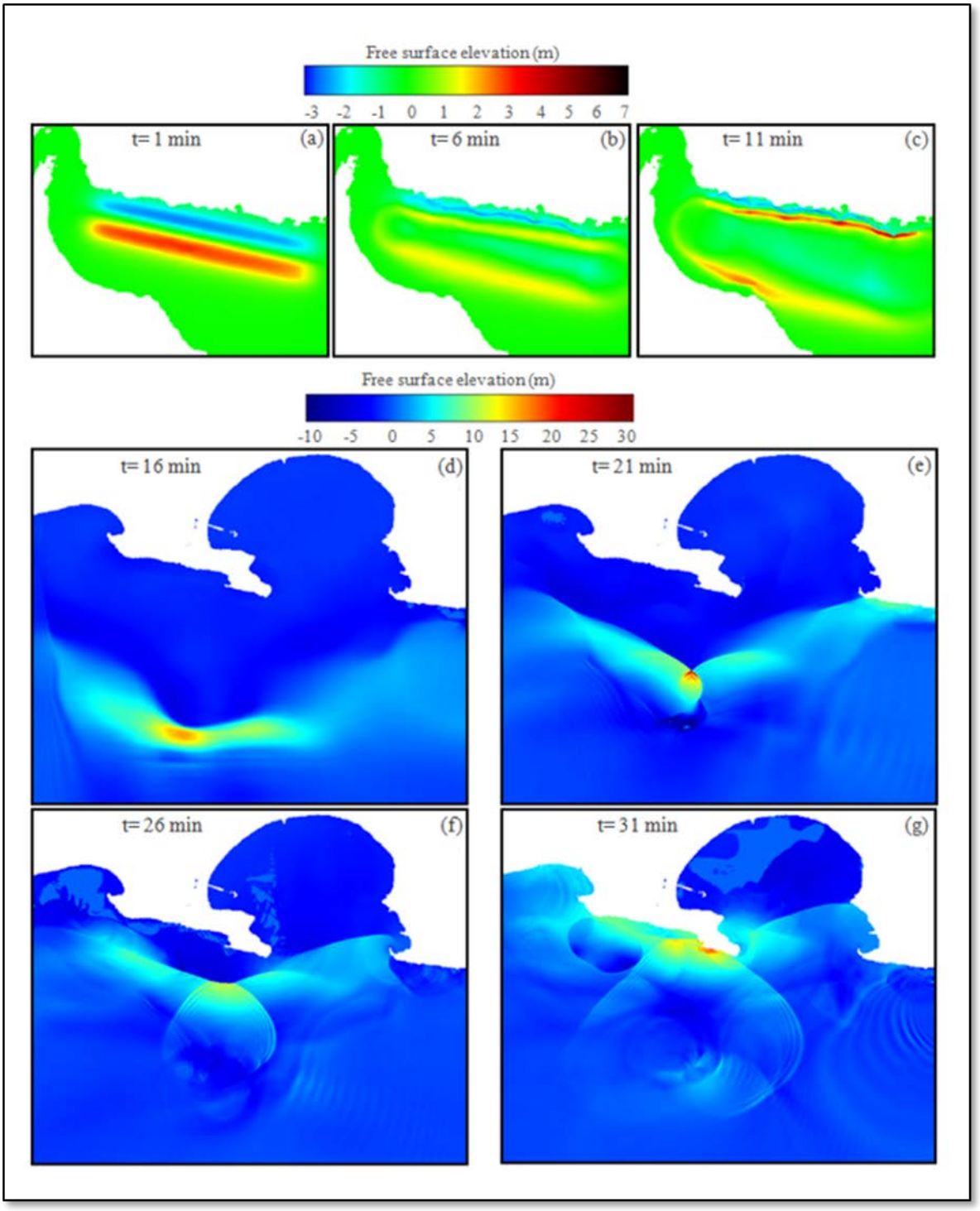


شکل ۱: (a) مدل کلی، (b) مدل محلی شبکه محاسباتی. سه زیرمجموعه مستعد سونامی در طول گسل مکران که در این مطالعه استفاده شده عبارتند از: مکران غربی (WM)، مکران شرقی (EM) و تمام طول گسل مکران (FM) که به ترتیب با خطوط سبز زیتونی، زرد روشن و صورتی نشان داده شده‌اند [۵]

Fig. 1: (a) general model, (b) local computational network model. The three subsets of tsunami-prone along the Makran fault used in this study are: Western Makran (WM), Eastern Makran (EM) and Full-length Makran Fault (FM), shown with olive green, light yellow and pink lines, respectively [۵]

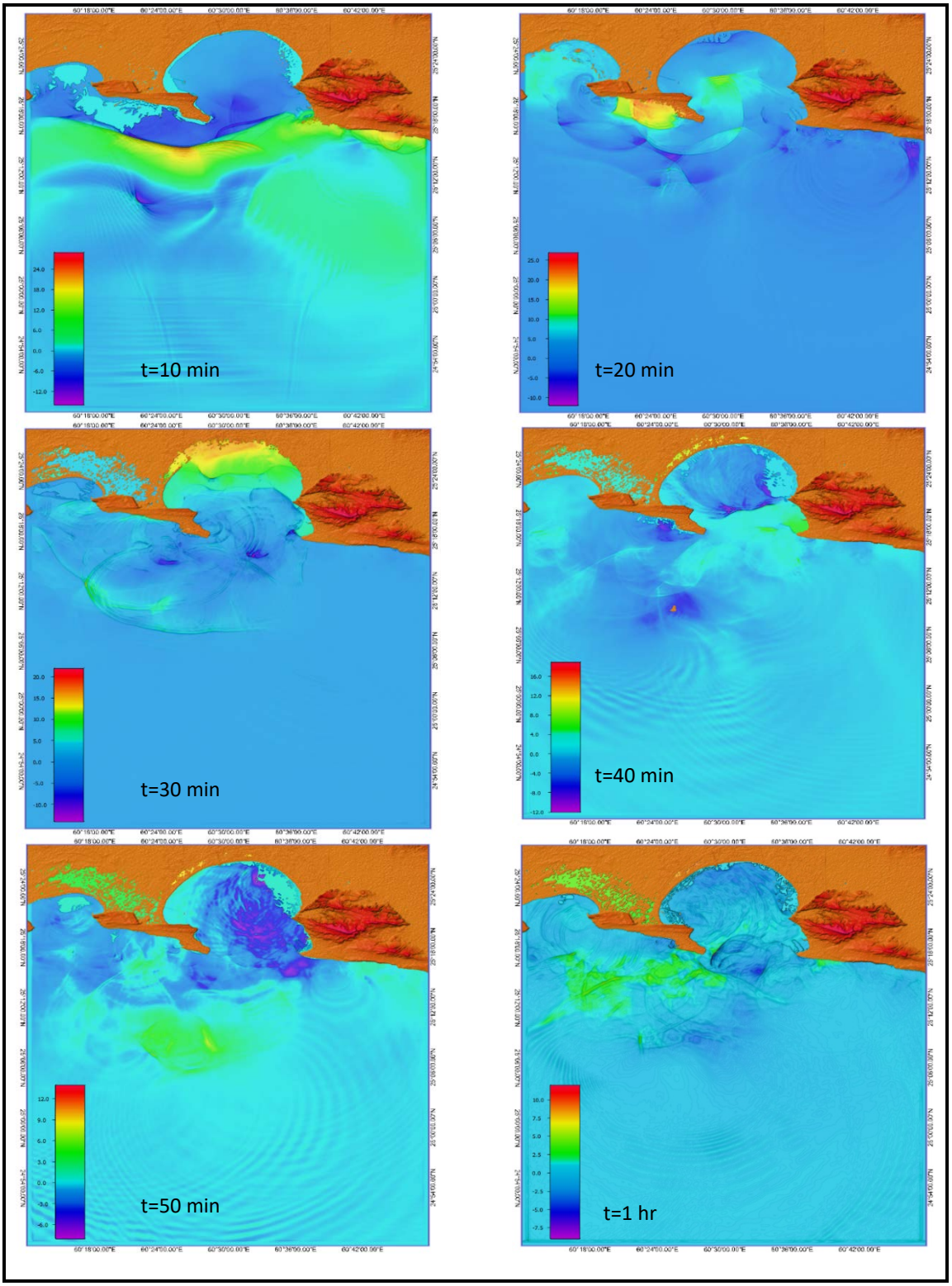
شکل ۲: تصاویر شبیه‌سازی سونام+ی در مدل کلی و محلی در زمان‌های مختلف پیشروی برای زلزله Mw=9.1 [۵]

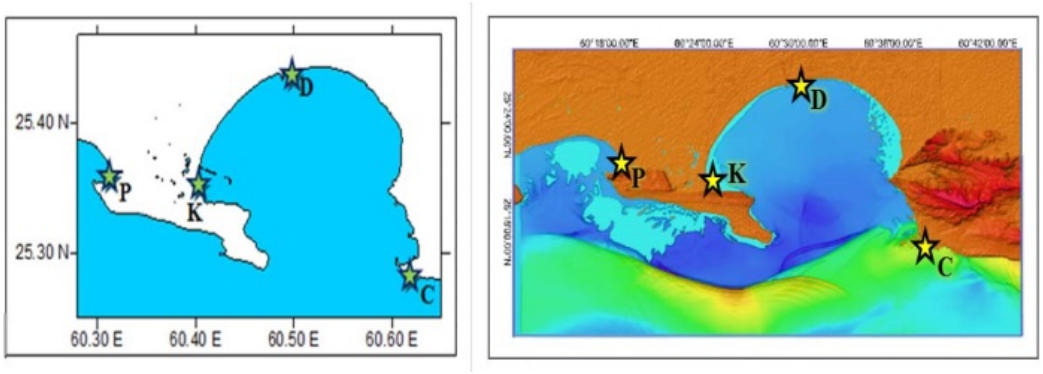
Fig. 2: Tsunami simulation image in general and local model at different progress times for earthquake Mw = 9.1 [۵]



شکل ۳: تصاویر لحظه‌ای سطح تراز آب در گام‌های زمانی ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۴۰، ۵۰ و ۶۰ دقیقه برای سناریوی زلزله Mw= 9.1 [۵]

Fig 3: Instantaneous images of water level in 10, 20, 30, 40, 50 and 60 minute time steps for Mw = 9.1 earthquake scenario [۵]





شکل ۴: موقعیت مکانی ایستگاه‌های ثبت تراز آب در سواحل بنادر چابهار (C)، آب شیرین کن (D)، کنارک (K) پزم (P) [۵]

Fig. 4: Location of water level recording stations on the shores of Chabahar (C), desalination plant (D), Konarak (K), Pazm (P) [۵]

نکته دیگر قابل مشاهده در انتشار امواج این است که در سمت سواحل شمالی ناحیه مکران، مثل سواحل پاکستان و ایران، در ابتدا حضیض موج سونامی (موج منفی) مشاهده و سطح دریا پایین می‌رود و پس از آن امواج مثبت سونامی می‌رسند؛ درحالی‌که در سمت سواحل جنوبی، مثل سواحل عمان، در همان ابتدا سطح دریا بالا رفته و امواج اصلی سونامی (موج مثبت) دریافت می‌شوند. علت این موضوع به عملکرد گسل مکران مربوط است که سبب می‌شود در لحظه نخست پس از زلزله، فرورفتگی ایجاد شده در سطح آزاد دریا در سمت شمال گسل قرار گیرد.

۵-۱ نوسانات تراز آب

جهت بررسی و مطالعه نوسانات تراز آب، چهار مکان جغرافیایی مشخص و با علامت (*) نمایش داده شده است (شکل ۴). سری زمانی امواج سونامی ناشی از وقوع زمین‌لرزه در مدل محلی برای زلزله‌هایی به بزرگی ۸/۳ و ۹/۱، به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ ارایه شده و موقعیت مکانی ایستگاه‌های ثبت تراز آب در سواحل بنادر چابهار، کنارک و پزم و آب شیرین کن در نظر گرفته شده است.

همان‌گونه که سری‌های زمانی نشان می‌دهند، امواج سونامی در ایستگاه ساحلی بندر چابهار زودتر از سایر ایستگاه‌ها ظاهر می‌شود؛ زمان رسیدن اولین موج سونامی (با تراز مثبت) به سواحل بندر چابهار ۱۹ دقیقه پس از وقوع هر دو زمین‌لرزه است در حالی‌که در بنادر پزم و کنارک، اولین موج سونامی ناشی از زلزله ۹/۱ به ترتیب در حدود ۳۰ و ۳۲ دقیقه و برای زلزله ۸/۳ به ترتیب ۳۱ و ۳۵ دقیقه می‌باشد. امواج سونامی با ارتفاع حداکثر، به ترتیب ۲۱ و ۲۳ دقیقه پس از زلزله‌های ۸/۳ و ۹/۳ به بندر چابهار وارد می‌شوند. این فاصله زمانی نسبتاً زیاد بین رسیدن امواج سونامی به بندر چابهار و بنادر پزم و کنارک به سرعت کم انتشار امواج سونامی در این نواحی مربوط می‌شود. با توجه به طول‌موج زیاد امواج سونامی این امواج در گروه امواج آب کم‌عمق (امواج بلند) شمرده می‌شوند و در نتیجه با فرض تئوری موج خطی، سرعت فازی این امواج با جذر عمق اقیانوس متناسب خواهد بود؛ $c=\sqrt{gh}$.

بنابراین به دلیل عمق کم آب در محدوده بین بنادر چابهار و بنادر پزم و کنارک، سرعت امواج سونامی در این نواحی کاهش یافته و این امر فاصله زمانی زیاد مذکور را توجیه می‌نماید. همانطور که پیشتر نیز بیان شد، مشاهده می‌شود که ارتفاع امواج سونامی در بندر چابهار از بنادر کنارک و پزم بیشتر است (مقدار حداکثر امواج سونامی برای زلزله ۹/۱ در بنادر چابهار، کنارک و پزم به ترتیب حدود ۱۳، ۹ و ۸ متر می‌باشد)؛ که علت آن به موقعیت ویژه قرارگیری بنادر کنارک و پزم برمی‌گردد.

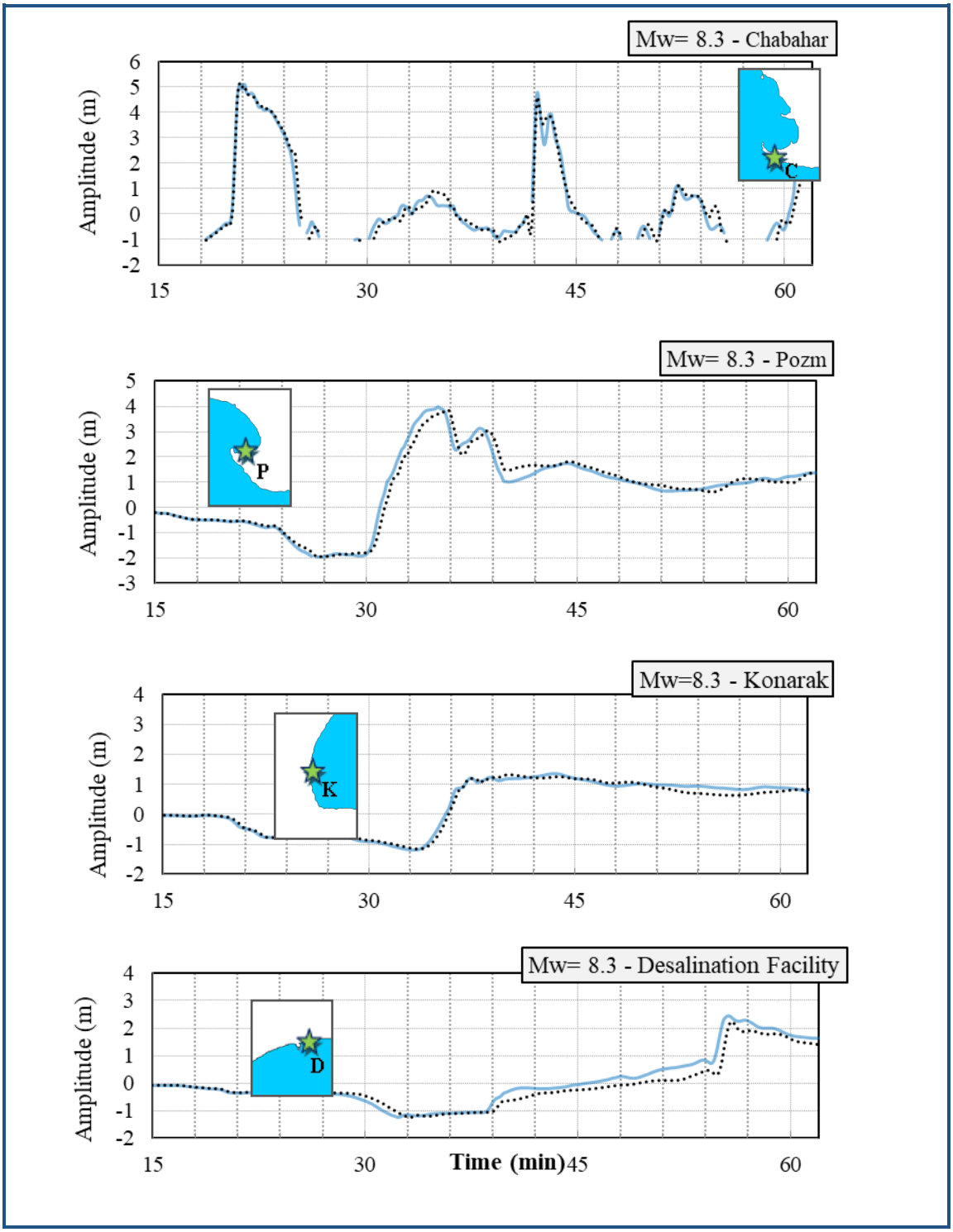
همان‌گونه که ملاحظه می شود، پس از انتشار سونامی در سواحل ایران، ابتدا حضیض موج مشاهده شده و تراز سطح آب پایین می‌رود که سری‌های زمانی امواج نیز این امر را تأیید می‌نمایند. این کاهش تراز سطح آب سبب می‌شود در مناطقی که دریا عمق چندانی نداشته باشد (عمق آب از میزان این کاهش تراز سطح آزاد کمتر باشد) خشکی رخ داده و اصطلاحاً دریا عقب نشیند. در نقاط خروجی مدل نیز که در مجاورت خط ساحلی هستند و عمق چندانی ندارند، این پدیده مشاهده شده و در هنگامی که کاهش تراز سطح آب از عمق بستر در نقطه خروجی تجاوز می‌کند، سری زمانی امواج منقطع می‌شود. ساکنان مناطق ساحلی می‌توانند از این مورد به عنوان یک هشدار طبیعی استفاده کنند و با مشاهده عقب‌نشینی دریا از در راه بودن امواج سونامی مطلع شوند.

امروزه در سامانه‌های هشدار سریع سونامی از نتایج مدلسازی و شبیه‌سازی عددی، بویه‌های سونامی‌سنج، تغییرات تراز آب دریا، نوسانات جزر ومدی، موجنگار، شبکه‌های لرزه‌نگاری و... استفاده می‌شود که بسیار زمان‌بر و پرهزینه بوده و داده‌های آنها محدود به چند نقطه مشخص شده است؛ در حالی‌که با استفاده از فناوری‌اطلاعات و اینترنت اشیاء، ارسال و دریافت داده‌ها بسیار سریع‌تر و مقرون به‌صرفه‌تر است. همچنین حجم داده‌های دریافتی

نسبت به منطقه مشخص شده، بسیار وسیع‌تر بوده و محدود به نقاط مشخصی نیست. ایجاد و استفاده از این سامانه‌ها باید بخشی از برنامه های ملی کاهش اثرات مخرب بلایا و کاهش آسیب‌پذیری و به حداقل رسانی مرگ و میر ناشی از مخاطرات دریایی باشد.

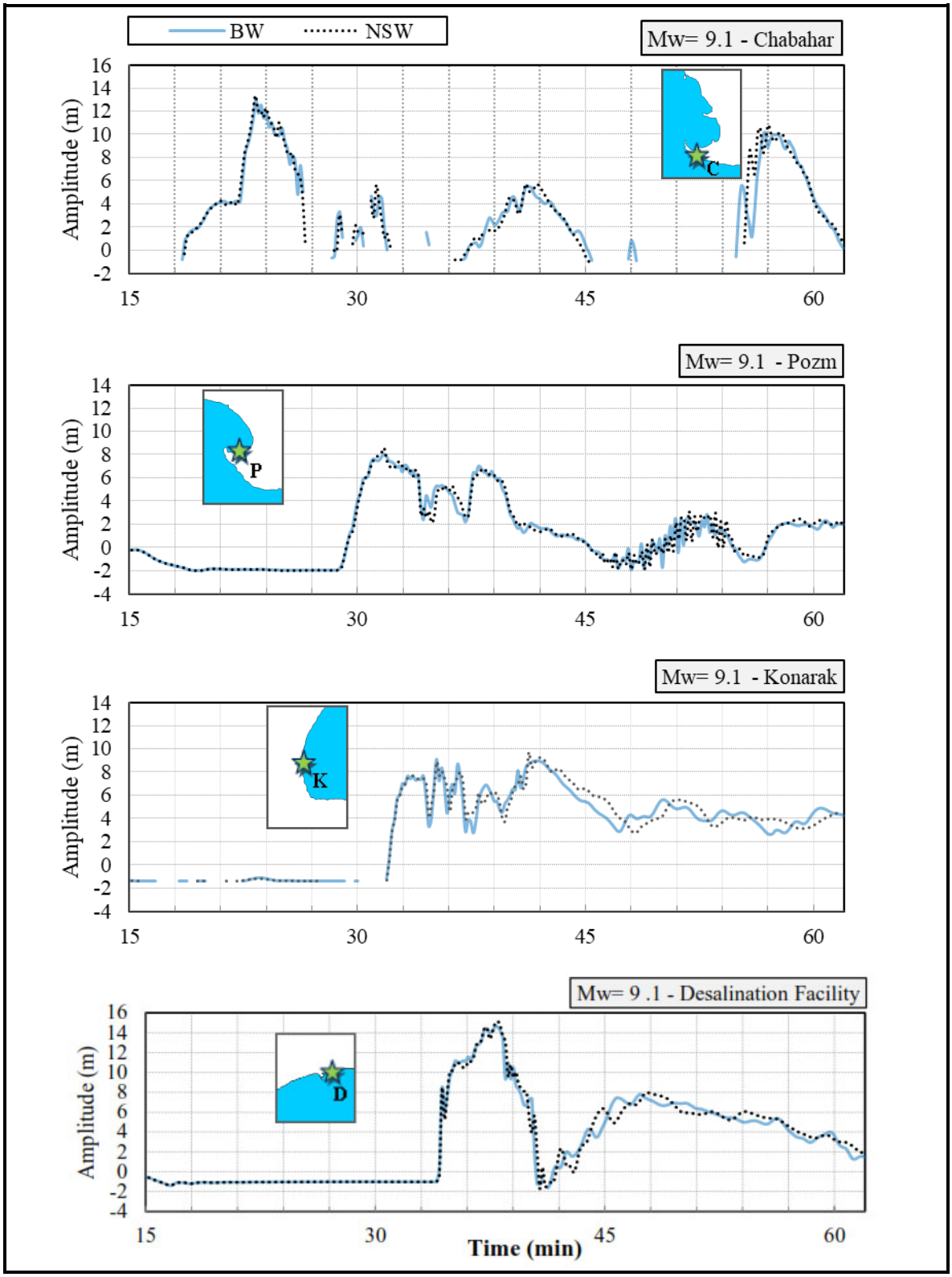
شکل ۵: سری زمانی امواج سونامی در ایستگاه بنادر چابهار، کنارک، پزم و آب‌شیرین‌کن ناشی از Mw=8.3 [۵]

Fig. 5: Time series of tsunami waves in Chabahar, Konarak, Pazm and desalination stations caused by Mw = 8.3 [۵]



شکل ۶: سری زمانی امواج سونامی در ایستگاه بنادر چابهار، کنارک، پزم و آب‌شیرین‌کن ناشی از Mw=9.1 [۵]

Fig. 6: Time series of tsunami waves in Chabahar, Konarak, Pazm and desalination stations of Mw = 9.1 [۵]



۲. اینترنت اشیاء (IoT)

اصطلاح اینترنت اشیاء که در سطح کلان با نام «*سامانه‌های فیزیکی سایبری*[1]» نیز شناخته می‌شود، نخستین بار توسط کوین اشتون در سخنرانی وی در سال ۱۹۹۹ مطرح شد [۶]. این سامانه، سامانه‌ای متشکل از شبکه‌های متحرک، حسگرها و اشیاء هوشمند است.

اینترنت اشیاء، شبکه‌ای باز و جامع از اشیاء هوشمندی است که توانایی سازماندهی خودکار، به اشتراک‌گذاری اطلاعات، داده‌های خام، منابع، فعل و انفعالات مختلف در مواجهه با شرایط و تغییر و تحولات محیطی را دارند. اینترنت اشیاء برای جمع‌آوری اطلاعات از حسگرها استفاده می‌کند [۷].

در مانیتورینگ برنامه‌های کاربردی نظارت بر محیط‌زیست، اینترنت اشیاء به‌طور معمول از حسگرهایی برای کمک به حفاظت محیط زیست از طریق نظارت بر کیفیت آب، هوا، شرایط جوی و آلودگی خاک استفاده می‌کند و حتی می‌تواند مواردی مانند نظارت بر حرکات حیات وحش و زیستگاه‌های آنها را نیز دربرگیرد. توسعه وسایل محدود به متصل به اینترنت، به این معنی است که سایر برنامه‌ها مانند سیستم‌های هشداردهنده زلزله یا سونامی نیز می‌توانند توسط خدمات اضطراری برای ارایه کمک‌های مؤثرتر مورد استفاده قرار گیرند. در این برنامه، دستگاه‌های IoT به‌طور معمول از یک منطقه جغرافیایی وسیع استفاده می‌کنند. این دستگاه‌ها می‌توانند به‌صورت قابل حمل باشند. برای استانداردسازی این دستگاه‌ها، از شبکه حسگرهای بی‌سیم استفاده می‌کنند. استدلال شده که استانداردسازی IoT به سنجش بی‌سیم، باعث تغییر و تحولات اساسی در این برنامه کاربردی خواهد شد [۸].

در واقع اینترنت اشیاء، ایده کلیدی اتصال همه چیز و همه کس به‌وسیله اینترنت به یکدیگر است، در سال‌های اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. ظهور IoT، ناشی از پیشرفت فناوری ارتباطات بی‌سیم است. از دهه ۸۰ میلادی که اولین تلفن همراه به‌وجود آمد، صنعت آن نسل چهارم توسعه را تجربه می‌کند. در حال حاضر، گسترش گسترده شبکه‌های 4G، سرویس‌های داده (H2H[2] و H2M[3]) را به منبع اصلی درآمد اپراتورهای تلفن همراه تبدیل کرده است. به‌نظر می‌رسد ارتباط M2M[4] که توسط فناوری‌های متنوع IoT پشتیبانی می‌شود، بازاری فوق‌العاده به‌وجود آورده که انتظار می‌رود تا سال ۲۰۲۰، درآمد حاصل از اتصالات اینترنت اشیاء در جهان، به ده‌ها میلیارد دلار برسد که به مراتب بیشتر از تعداد رایانه‌های شخصی و تلفن‌های همراه است. پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۲۴ صنعت اینترنت اشیاء از بخش‌های مختلفی مانند اتصال دستگاه‌ها، تولید و خدمات ارزش افزوده و... تشکیل شده است، به درآمدی بالغ بر ۴,۳ تریلیون دلار برسد. امروزه اینترنت اشیاء نقش مهمی در شکوفایی رشد اقتصادی جهانی ایفا کرده است و انتظار می‌رود تبدیل به نیروی محرکه آغازگر انقلاب صنعتی چهارم شود [۹].

در جامعه کنونی، اهمیت اینترنت اشیاء به‌حدی است که روز ۹ اپریل به‌عنوان "روز IOT" در سراسر جهان تعیین شده تا سهم سود اجتماعی شرکت‌های وابسته به IOT را هرچه بیشتر نمایان سازد.

۲-۱ *معماری اینترنت اشیاء*

اینترنت اشیاء که پس از صفحات وب استاتیک و شبکه‌های اجتماعی، به‌عنوان موج سوم وب معرفی شده است؛ شبکه‌ای جهانی است که در هر زمان از طریق IP انواع مختلفی از اشیاء را به‌هم متصل می‌سازد. مقیاس‌پذیری، تعامل متقابل، ذخیره‌سازی داده‌ها و کیفیت خدمات آن زمینه‌های کلیدی هستند که در هنگام تعریف معماری برای اینترنت اشیاء مورد توجه قرار می‌گیرند.

۲-۲ *معماری سه لایه*

اساسی‌ترین معماری شناخته شده IOT، معماری سه لایه است که شامل سه لایه ادراک، لایه انتقال و لایه کاربرد می‌باشد. چنین دیدگاهی اغلب توسط محققان اینترنت اشیاء پذیرفته شده است و می‌توان به‌عنوان پایه‌ای برای توسعه معماری‌های سفارشی مورد استفاده قرار داد. در معماری سه لایه، لایه ادراک شامل حسگرها یا محرک‌هایی است که اطلاعات را جمع‌آوری یا تولید می‌کنند [۱۰]. لایه کاربرد شامل برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء و لایه پشتیبانی از برنامه‌های کاربردی است که امنیت لجستیک هوشمند، امنیت خانه هوشمند، امنیت پزشکی از راه دور، امنیت ترافیک هوشمند، امنیت نظارت محیطی، فناوری میان‌افزار، بستر پشتیبانی خدمات، بستر توسعه اطلاعات، بستر محاسبات ابری، بسترهای پشتیبانی و سایر برنامه‌های کاربردی را شامل می‌شود. لایه انتقال نیز امنیت در انواع مختلفی از شبکه‌ها مانند شبکه محلی، شبکه هسته و دستیابی به شبکه‌هایی مانند ad hoc، GPRS، Wi-Fi، 3G و سایر روش‌های دستیابی به شبکه و... را شامل می‌شود.

لایه ادراک شامل امنیت در حسگرها، شبکه‌های حسگر بی‌سیم، RFID و... است. حسگرها ورودی‌های مربوط به وضعیت فعلی خود را ارایه می‌دهند در حالی که درایورها دستگاه‌هایی هستند که می‌توانند تغییرات در محیط را تحت تأثیر قرار دهند (به‌عنوان مثال سامانه گرمایش، تهویه مطبوع و غیره). شبکه‌های حسگر بی‌سیم (شامل تعداد زیادی از حسگرهای کوچک و منابع محدود) نقش مهمی در جمع‌آوری و پردازش انواع مختلف داده‌ها در لایه ادراک دارد [۱۱].

این حسگرها با استفاده از قانون‌های تخصصی مانند ZigBee، Wi-Fi و بسیاری از قانون‌های دیگر با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند که نوع ارتباط بین آنها از نوع ارتباطات کوتاه‌مدت یا ارتباط با بُرد نزدیک

[1] Cyber-physical systems
[2] Human to Human (H2H)
[3] Human to Machine (H2M)
[4] Machine to Machine (M2M)

است. لایه شبکه اتصال را در سراسر اکوسیستم اینترنت اشیاء برای اطمینان از انتقال داده‌ها و تبادل آنها فراهم می‌سازد. استانداردها و قانون‌های متعددی با اینترنت اشیاء مرتبط هستند که از جمله آنها IPv6[1] است. با استفاده از ترافیک IPv6 می‌توان از آدرس‌دهی منحصربه‌فرد هر دستگاه متصل در داخل شبکه، اطمینان حاصل نمود.

در نهایت، لایه کاربرد داده‌ها را از لایه ادراک از طریق لایه انتقال دریافت کرده و این داده‌ها را ذخیره، تجزیه و تحلیل یا پردازش می‌کند. تنها قانون شناسایی شده که می‌تواند از قانون UDP[2] استفاده کند، قانون برنامه محدود (CoAP IETF)[3] است که با سبک کردن وزن داده‌های قرار گرفته بر روی صفحات وب، باعث کاهش چشمگیر ارتباطات سربار می‌شود [۱۰].

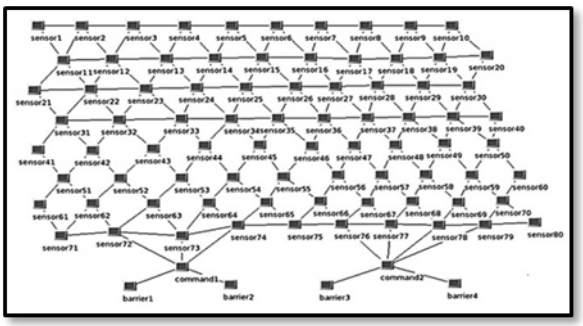
۲-۳ شبکه حسگر بی‌سیم

شبکه‌های حسگر بی‌سیم[4] که گاهی به آنها شبکه‌های عملگر و حسگر بی‌سیم هم می‌گویند، حسگرهای خودمختار توزیع شده جهت نظارت بر شرایط فیزیکی یا محیطی مثل دما، صدا، فشار و... هستند و برای انتقال داده‌هایشان از طریق شبکه به یک مکان اصلی به کار می‌روند. شبکه‌های مدرن‌تر دو جهته هستند که امکان کنترل فعالیت حسگر را فراهم می‌کنند. توسعه شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از برنامه‌های نظامی از جمله نظارت در میدان جنگ ایجاد شده است. امروزه چنین شبکه‌هایی در بسیاری از کاربردهای صنعتی و مصرفی مانند نظارت و کنترل فرآیندهای صنعتی، نظارت بر سلامت دستگاه و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرند.

شبکه حسگر بی‌سیم از چند تا چندصد یا حتی هزاران گره ساخته شده است که هرکدام از این گره‌ها به یک (یا گاهی اوقات چندین) حسگر وصل می‌شوند. به‌طور معمول، هر گره شبکه حسگر دارای چندین بخش است: یک فرستنده رادیویی با آنتن داخلی یا متصل به آنتن خارجی، میکروکنترلر، یک مدار الکترونیکی برای ارتباط با حسگرها و منبع انرژی (یک باتری) [۸]. یک شبکه حسگر بی‌سیم که برای تشخیص سونامی به‌کار می‌رود، متشکل از تعداد زیادی حسگر است که در زیر آب قرار دارند. در شکل (۷) معماری حسگرهای شبکه حسگر بی‌سیم برای تشخیص سونامی نشان داده شده است.

از شبکه‌های حسگر بی‌سیم برای ارایه راه‌حل مؤثر بر مدیریت بحران طبیعی، نظارت بر اثرات زیان‌آور زلزله و سونامی استفاده می‌شود [۲]. برای تشخیص سونامی داده‌های فشار از طریق گره‌های حسگر دریافت و تجزیه و تحلیل می‌شود [۱۲].

یکی از کاربردهای متداول شبکه حسگر بی‌سیم نظارت ناحیه‌ای یا نظارت منطقه‌ای است. در نظارت منطقه‌ای، شبکه حسگر بی‌سیم در منطقه‌ای مستقر و پیاده‌سازی می‌شود که پدیده‌ای را در آن منطقه کنترل می‌کند. یک نمونه نظارت منطقه‌ای، استفاده از حسگرها برای تشخیص سونامی است. از طریق داده‌های جمع‌آوری شده می‌توان از رخ دادن سونامی و زمین‌لرزه‌ها قبل از وقوع آنها آگاه شد. گره‌های بی‌سیم که در آب مستقر شده‌اند برای نظارت بر تغییرات سطح آب که در زمان واقعی باید کنترل شود به کار می‌روند و از شبکه حسگر بی‌سیم می‌توان برای جلوگیری از پیامدها و خسارات ناشی از بلایای طبیعی مانند سیل و سونامی استفاده کرد [۸].



شکل ۷: معماری حسگرهای شبکه حسگر بی‌سیم تشخیص سونامی [۱۲]

Fig. 7: Tsunami detection and reponse system architecture [۱۲]

۳. تشخیص سونامی با استفاده از نقشه‌های داپلر GNSS - R

طی دو دهه گذشته، نقشه داپلر بازتاب‌سنجی سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی[5]، در سنجش از راه دور توسط محققان زیادی مورد بررسی قرار گرفته است. این روش اولین بار در سال ۱۹۹۳ توسط مارتین- نیرا[6] برای ارتفاع‌سنجی اقیانوس استفاده شد. پس از آن، از GNSS-R برای تحقیقات مختلفی از جمله سنجش باد در سطح دریا، مشخصات یخ دریا، اندازه‌گیری عمق برف، نظارت بر رطوبت خاک، شناسایی لکه نفتی و... استفاده شده است. از زمان وقوع سونامی ویرانگر سوماترا- اندامان[7] در سال ۲۰۰۴، پیشرفت‌های زیادی در جهت ترویج استفاده از بازتاب‌سنجی سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی به‌عنوان یک رویکرد جدید در تشخیص سونامی در اعماق دریا شده است که روشی مناسب برای تشخیص سونامی است. عملکرد تشخیص سونامی مبتنی بر ارتفاع‌سنجی GNSS-R ارزیابی شده و تخمین پارامتر موج سونامی با استفاده از چندین مسیر بازتابی خاص در سیگنال GNSS انجام می‌گیرد. به‌طور خلاصه، روش سنتی تشخیص سونامی، مبتنی بر مفهوم ارتفاع‌سنجی GNSS-R است [۱۳].

[1] Internet Protocol Version 6 (IPv6)
[2] User Data-gram Protocol (UDP)
[3] Constrained Application Protocol (CoAP)
[4] Wireless Sensor Networks (WSN)

[5] Global Navigation Satellite System- Reflectometry (GNSS-R)
[6] Martin-Neira
[7] Sumatra–Andaman Tsunami

از آنجا که دستگاه‌های اینترنت اشیاء کاربردهای مختلفی دارند و دستگاه‌های مختلفی را به‌هم وصل می‌کنند نیازمند ملزومات طراحی گیرنده‌های مختلف سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی هستند. برای تشخیص سونامی به‌وسیله اینترنت اشیاء نیز از سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی استفاده می‌شود زیرا دستگاه‌های اینترنت اشیاء تا زمانی که هیچ سیگنال RF دیگری موجود نباشد که خدماتی ارایه دهد، عمدتاً متکی بر تراشه سامانه ماهواره‌ای ناوبری جهانی هستند [۱٤].

اگرچه سونامی را نمی‌توان متوقف کرد اما کسب دانش در مورد اینکه سونامی در یک منطقه خاص رخ خواهد داد و میزان قدرتی که دارد، بسیار مفید است. تعدادی از مراکز هشدار سونامی در سراسر جهان تاسیس شده‌اند تا اطلاعات هشداردهنده در مورد وقوع سونامی را فراهم ساخته و از میزان اثرات زیان‌باری که دارد، بکاهند. این سامانه‌های هشداردهنده از شبکه‌ای از حسگرها مانند فشارسنج‌هایی که در کف اقیانوس قرار داده می‌شوند، جهت استخراج پارامترهای زلزله و سونامی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

همچنین از برخی حسگرهای شناوری که بر روی سطح اقیانوس مستقر شده‌اند نیز برای استخراج پارامترهای زلزله و سونامی استفاده می‌شوند. استقرار و نگهداری از چنین حسگرهایی معمولاً بسیار گران است، بنابریان بازتاب‌سنجی سامانه ماهواره‌ای جهانی یک روش سنجش از راه دور مقرون به‌صرفه است که اخیراً توجه ویژه‌ای را از سوی دانشگاه‌ها و سازمان‌های تحقیقاتی به خود جلب کرده است. GNSS-R برای بازیابی طیف وسیعی از پارامترهای ژئوفیزیکی به‌کار می‌رود و از آن می‌توان برای تشخیص سونامی در زمان واقعی نیز استفاده کرد. به کمک آن پارامترهای سونامی مانند طول موج، ارتفاع موج و سرعت انتشار موج را تعیین نمود [٦].

تشخیص یک رویکرد مناسب برای تشخیص سونامی، نیاز به شناخت ویژگی‌ها و رفتار سونامی دارد و انتظار می‌رود مشخصات یا هدف حاصل از آن‌ها را بتوان به حسگرها نشان داد تا حسگرها بتوانند داده‌های مربوط به این ویژگی‌ها را جهت تشخیص سونامی استفاده کنند.

جهت تشخیص سونامی توجه به وضوح حسگر، میزان پوشش‌دهی، روش تجزیه و تحلیل و در نهایت شناسایی سونامی از طریق داده‌هایی که حسگرها برمی‌گرداند، از اهمیت بالایی برخوردار است.

برخی از حسگرها به‌ویژه آنهایی که در ماهواره‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، ممکن است تنها بخش‌هایی از منطقه مورد نظر را پوشش دهند یا تنها یک ناحیه را در زمان‌های مشخص یا در طی فصول خاص پوشش‌دهی نمایند. علاوه براین، درک این نکته که حسگر تعیین شده در واقع چه چیزی را می‌تواند شناسایی کند (مانند تصاویر بصری تک‌باندی[1]، چندباندی[2]، راداری[3] و...) مهم است؛ چرا که برخی حسگرها در شرایط مختلف در تشخیص آوار بهتر هستند.

همچنین بسترهای به‌کارگیری این حسگرها می‌توانند از بسترهای سطحی (مانند کشتی یا کف دریا) گرفته تا هوایی (مانند هواپیماها، سامانه‌های پرنده هدایت‌پذیر از راه دور (پهپادها)) و فضایی (مانند ماهواره‌ها) متغیر باشند [۱٥].

داده‌های سنجش از راه دور حاصل از ماهواره‌ها و هواپیماهای خلبانی ابزار قدرتمندی برای اندازه‌گیری وضعیت و روند تغییرات محیطی در ارتباط با فرآیندهای طبیعی و تغییرات ناشی از دخالت انسان در محیط هستند. در بسیاری از مواقع، داده‌های این بسترها تنها راه اندازه‌گیری ویژگی‌ها یا فرآیندهای موجود بر روی سطح زمین، جو و بررسی نحوه تغییرات محیطی است [۱٦, ۱۷].

نتیجه‌گیری و چشم‌اندازهای آینده

امروزه، حوادث و رویدادهای طبیعی در طول حیات بشر منجر به خسارت‌های جانی و مالی فراوانی شده‌اند که جوامع پیشرفته با استفاده از فناوری‌های نوین و مدرن توانسته‌اند به مقابله با این بلایا برخاسته و میزان خسارت ناشی از این حوادث را به حداقل برسانند. هرچند فناوری‌های گذشته تاکنون توانسته است کمک‌های شایانی به بشریت نماید اما، کافی نبوده و روزانه شاهد تلفات انسانی، خسارت مالی و تأثیرات گسترده زیست‌محیطی ناشی از بروز حوادث و بلایای طبیعی در جهان هستیم.

در روش‌های کنونی، به‌منظور ارزیابی اثرات سونامی احتمالی ناشی از گسل‌های موجود در سواحل ایرانی، باید با استفاده از مدلسازی عددی، نتایج را مورد بررسی و مطالعه قرار دهند. با توجه به اینکه تعیین موقعیت وقوع زلزله و میزان شدت آن امکان‌پذیر نیست، لذا تنها با بررسی سناریوهای مختلف زلزله از جمله سناریوهای انتشار و پیشروی امواج و بررسی مختصات، بزرگی و ابعاد زلزله در نقاط مشخص شده و شبیه‌سازی‌های عددی، این امر میسر می‌گردد. با توجه به نتایج به‌دست آمده در این سناریوها، حداقل زمان مورد نیاز ۱۰ دقیقه است، درحالی که در زمان وقوع سونامی، به حداقل رساندن این مدت زمان حتی درحد چند ده ثانیه، بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

در سال‌های اخیر به‌منظور پشتیبانی از مدیریت بحران، استفاده از فناوری اطلاعات و اینترنت اشیاء بسیار فراگیر شده است. در این میان، نقش اینترنت اشیاء و هوش مصنوعی در مدیریت بحران و مدیریت حوادث طبیعی بسیار حیاتی بوده است. اینترنت اشیاء، یک فناوری نوین است که این امکان را فراهم می‌سازد تا اشیای مختلف از هر مکان به کمک هوش نرم‌افزاری و حسگرها، از طریق اینترنت

[1] Panchromatic visual image
[2] Multispectral return
[3] Radar signature

به‌هم متصل شده و در شبکه به تبادل داده‌ها بپردازند. اینترنت اشیاء مجموعه‌ای از حسگرهای نصب شده در اشیای فیزیکی گوناگون است که با استفاده از شبکه‌های بی‌سیم و باسیم از طریق قانون‌های مختلف شبکه اینترنت و با رعایت استانداردهای امنیتی در ارتباط با یکدیگر هستند. به‌طور عمومی این ابزارها را می‌توان در سامانه هشدارهای حوادث طبیعی مثل سیل، سونامی و موارد دیگر مشاهده نمود. این فناوری به تمام اشیای فیزیکی، اجازه ادراک و ارایه اطلاعات خاص و کنترل از راه دور از طریق اینترنت را می‌دهد و برای یکپارچه‌سازی هرچه بیشتر بین دنیای فیزیکی و سامانه‌های رایانه‌ای، فرصت‌هایی را به‌وجود می‌آورد که موجب دقت بیشتر، بهبود کارایی و سودآوری اقتصادی می‌گردند. در IOT، هر شیء با استفاده از سامانه محاسباتی طراحی شده، به‌طور خاص و منحصر به‌فرد شناسایی می‌شود و می‌تواند با زیرساخت‌های موجود در اینترنت همکاری کند. وقوع بلایای طبیعی اجتناب‌ناپذیر است و شاید هیچگاه نتوانیم مانع از وقوع حوادثی چون زمین‌لرزه، سیل، سونامی و دیگر رخدادهای طبیعی باشیم اما نکته حائز اهمیت این است که با پیش‌بینی زودهنگام، هشدارهای اولیه فوری و مدیریت مؤثر و صحیح در برابر بلایای طبیعی، می‌توان به کاهش ویرانی و حفظ جان افراد بیشتری کمک نمود.

در حال حاضر، فناوری‌های اینترنت اشیاء با شبکه بسیار کوچک‌تر، ارزان‌تر، با سرعت بیشتر و زمان کوتاهتر به بخش مهم و بزرگی از استراتژی‌های مدیریت بحران و مدیریت حوادث طبیعی تبدیل شده است. با قرار دادن استراتژیک شبکه‌های حسگر بی‌سیم در نقاط کلیدی مناطق وقوع سونامی در دریا (جایی که بسیاری از رانش‌ها طوفان‌ها شکل می‌گیرند)، می‌توان از داده‌های به‌روز برای بررسی وضعیت نقاط محلی در حین حوادث استفاده کرد. این داده‌ها می‌توانند از مدل‌های پیش‌بینی (مبتنی بر بستر ابری IoT) تغذیه شده و برای دادن هشدارهای اولیه در مورد بلایای احتمالی استفاده شوند. در این راستا، به‌نظر می‌رسد انسان امروز باید فناوری‌های نوین و جدیدی مانند اینترنت اشیاء، بستر ابری، هوش مصنوعی و... را جایگزین فناوری‌های موجود نماید.

برای اینترنت اشیاء چالش‌های بسیاری وجود دارد از جمله مسایل فنی، مشکلات امنیتی و عدم پذیرش تکنولوژی‌های نوین. از سوی دیگر، دریافت و پردازش داده‌های بزرگ، میزان نفوذ اینترنت، توجه به زیرساخت‌ها، قابلیت همکاری و سازگاری بسترها جزء مشکلات فنی در حوزه اینترنت اشیاء هستند. همچنین در اینترنت اشیاء نیز، نفوذ هکرها و سوءاستفاده از داده‌های آن چندان دور از انتظار نیست. لزوم فرهنگ‌سازی برای استفاده مناسب از این تکنولوژی، بخش مهمی از مواردی است که باید مورد توجه قرار بگیرد.

هدف از نگارش این مقاله، بررسی سامانه هشدار سونامی با استفاده از اینترنت اشیاء بود. برای این منظور، بررسی سناریوهای مختلف زلزله، راهکارهای تشخیص سونامی، مدلسازی سناریوهای سونامی، شبیه‌سازی انتشار و پیشروی امواج سونامی، چالش‌های سامانه هشدار سونامی و روش‌های مورد استفاده در اینترنت اشیاء برای تشخیص سونامی مورد بررسی قرار گرفت. دستاوردهای حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که محققان برای تشخیص سونامی به‌وسیله اینترنت اشیاء، الگوریتم‌های مختلفی را مورد استفاده قرار داده‌اند. نتایج حاصل از این تحقیق برای توسعه‌دهندگان برنامه‌های کاربردی اینترنت اشیاء مفید است و می‌توان از الگوریتم‌های مبتنی بر اینترنت اشیاء، برای تشخیص و هشدار سریع‌تر سونامی استفاده کرد و باعث حفظ جان افراد و کاهش خسارت‌های مالی و جانی ناشی از وقوع سونامی شد.

در این مقاله، تنها به زمینه‌های تحقیقاتی مرتبط در حوزه اینترنت اشیاء با سامانه هشدار سونامی پرداخته شد. پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده، تأثیر اینترنت اشیاء بر دیگر رویدادها و بلایای طبیعی مورد مطالعه قرار گیرد. همچنین مقایسه‌ای بین روش‌های مدیریت بحران در مواجهه با حوادث طبیعی مختلف صورت پذیرد و از فناوری‌های اینترنت اشیاء در حوزه حوادث طبیعی و مدیریت بحران، به‌صورت کاربردی استفاده گردد. [۱۱, ۱۸-۲۶]

مشارکت نویسندگان

در نگارش این مقاله نویسندگان سهم یکسانی داشتند. تمرکز اصلی نویسنده دوم (محمودرضا اکبرپور جنت) بر بخش سونامی، مدل‌سازی سناریوهای سونامی، سناریوهای انتشار و پیشروی امواج بوده است. تمرکز نویسنده اول (مریم پارسی) که نویسنده مسئول مقاله است بیشتر بر یافتن روش‌ها، تجهیزات و فناوری‌های اینترنت اشیاء مبتنی بر حسگرهای بی‌سیم، شبکه‌های ابری و... جهت جایگزینی با روش‌های موجود برای هشدار به‌هنگام سونامی بوده است. نظارت بر انطباق مقاله با فرمت مجله، نگارش و جمع‌آوری مطالب، ترجمه و ویراستاری مقالات و هماهنگی محتوایی مقاله را نیز بر عهده داشته است.

تعارض منافع

«هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان بیان نشده است.»

References

1. Dubois JP, S.Daba J, Karam H, Abdallah J. "An enhanced SAR-Based Tsunami detection system". *World Academ Sci Engineer Technol Int J Electronic Communicat Engineer*. 2014;**8**(7):1242-1246.

2. Kharde Sagar D, Chanaky K. "Natural disasters alert system using wireless sensor network". *IJEDR*. 2015;**3**(4):2321-9939.

3. Schindelé F, Gailler A, Hébert H, Loevenbruck A, Gutierrez EM, Roudil AP, et al. "Implementation and challenges of the Tsunami warning system in the Western Mediterranean". *Pure Appl Geophysic*. 2015;**172**:821-833. **doi:** 10.1007/s00024-014-0950-4
4. Donald L, Wells K, Coppersmith J. "New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement". *Bullet Seismol Soc America*. 1994;**84**(4):974-1002.
5. Akbarpour Jannat MR, Rastgoftar E. "Numerical Study of the Nonlinear Parameters Effects on the Tsunami wave Modeling at Chabahar Bay".Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science, Project Report, Winter (Persian)2018
6. Yu K. "Weak Tsunami Detection Using GNSS-R-Based Sea Surface Height Measurement". *IEEE Transact Geosci Remote Sensing*. 2016;**54**(3):1363-1375.
7. Perwej DY, Aboughaly M, Kerim B, Harb H. "An extended review on Internet of Things (IoT) and Its promising applications". 2019;**7**:8-22. **doi:** 10.5120/cae2019652812
8. C.Manju S, Banumathi ME. "IoT on disaster information analysis using wireless sensor network". *Int J Advanc Res Basic Engineer Sci Technol (IJARBEST)*. 2017;**3**(24):281-286.
9. Xu J, Yao J, Wang L, Ming Z, Wu K, Chen L. "Narrowband internet of things: evolutions, technologies and open issues". *IEEE Int Thing J*. 2018;**5**(3):1449-1462. **doi:** 10.1109/JIOT.2017.2783374
10. Tubaishat A, Paliath S. "Adoption Challenges of the Internet of Things: A Survey". 2018:332-338. **doi:** 10.1109/CCOMS.2018.8463303
11. Borgia E. "The internet of things vision: Key features, applications and open issues". *Comput Communicat*. 2014;**54**:1-31. **doi:** 10.1016/j.comcom.2014.09.008
12. Casey K, Lim A, Dozier G. "A sensor network architecture for Tsunami detection and response". *Int J Distribut Sensor Network*. 2008;**4**. **doi:** 10.1080/15501320701774675
13. Yan Q, Huang W. "Tsunami detection and parameter estimation from GNSS-R Delay-Doppler map". *IEEE J Select Topic Appl Earth Observat Remote Sensing*. 2016;**9**:4650-4659. **doi:** 10.1109/JSTARS.2016.2524990
14. Katsumoto T, Takaoka K, Takanohashi K, Youssef M. "GNSS System Design and Evaluation for IoT Applications". Proceedings of the 30th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2017), Portland, Oregon2017. 3566-3572 p.
15. National Oceanic and Atmospheric Administration US. "Detecting Japan Tsunami Marine Debris at Sea: A Synthesis of Efforts and Lessons Learned". Japan Tsunami Marine Debris Detection Report2015.
16. Whitehead K, Hugenholtz C. "Remote sensing of the environment with small unmanned aircraft systems (UASs), part 1: A review of progress and challenges". *J Unmanned Vehicle Sys*. 2014;**2**:69-85. **doi:** 10.1139/juvs-2014-0006
17. Braun A. "How the Internet of Things can help manage natural disasters". IoT Technologies Trends2019.
18. Alhamidi. P, V. H., Simanjuntak JES. "Analysis of tsunami disaster resilience in Bandar Lampung bay coastal zone". *IOP Conference Series Earth Environ Sci*. 2018;**158**:012037. **doi:** 10.1088/1755-1315/158/1/012037
19. Reghunath Lekshmi, Saranya Ms. "Early Warning System to Predict Tsunami Based on IoT". *Int J Res*. 2017;**5**(7):419-425.
20. Al-Fuqaha A, Guizani M, Mohammadi M, Aledhari M, Ayyash M. "Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications". *IEEE Communicat Surveys Tutorial*. 2015;**17**(4):2347-2376. **doi:** 10.1109/COMST.2015.2444095
21. R Nimbargi S, Hadawale, S., Ghodke G. "Tsunami alert & detection system using IoT: A survey". *Int Conference Big Data IoT and Data Sci (BID) Vishwakarma Institute Technol*. 2017:182-184. **doi:** 10.1109/BID.2017.8336595
22. Cartwright JH, Nakamura H. Tsunami: a history of the term and of scientific understanding of the phenomenon in Japanese and Western culture. *Notes Rec R Soc Lond*. 2008;**62**(2):151-166. **doi:** 10.1098/rsnr.2007.0038 **mid:** 19068999
23. Amjath AJ, Thangalakshmi BA, Beaulah V. "IoT based disaster detection and early warning device". *Int J MC Square Sci Res*. 2017;**9**(3):20-25. **doi:** 10.20894/IJMSR.117.009.003.003
24. Deepali V, Nikita J. "Intelligent information retrieval for Tsunami detection using wireless sensor nodes". *Int Conference Advance Comput Communicat Inform (ICACCI)*. 2016. **doi:** 10.1109/ICACCI.2016.7732192
25. Yamamoto N, Aoi Sh, Hirata K, Suzuki W, Kunugi T, Nakamura H. "Multi-index method using offshore ocean-bottom pressure data for real-time tsunami forecast". Yamamoto et al. Earth, Planets and Space. 2016;**68**:128. **doi:** 10.1186/s40623-016-0500-7
26. Ary Murti M. "Sensor system design for Tsunami early warning system". 2nd Symposium of Future Telecommunication and Technologies (SOFTT)2018.

AUTHOR(S) BIOSKETCHES

Parsi, M., M.Sc. Information of Technology Engineering, Iranian National Institute for Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS); Tehran, Iran

m.parsi@inio.ac.ir

0000-000-7699-4636

Akbarpour Jannat, M.R., Assistant Professor, Coastal Engineering, Iranian National Institute of Oceanography and Atmospheric Science (INIOAS), Tehran, Iran

akbarpour@inio.ac.ir

0000-0003-1850-9617

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Citation (Vancouver) *Parsi, M.; Akbarpour Jannat, M.R.. Tsunami Warning System Using of Internet of Things. J Oceanography.2021.**11**(44): 1-17.*

http://doi.org/10.52547/joc.11.44.1

http://joc.inio.ac.ir/article-1-1586-fa.html

https://orcid.org/0000-000200-8311-5238

COPYRIGHTS

©2021 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers.