



H36/2014



GSI/16/2014



GII 030/797/14



TEL AVIV UNIVERSITY

המלצה למדיניות, עקרונות התרעה ומסגרת להיערכות לצונאמי בישראל

עמוס סלמון, סרג'יו דב רוזן, יפים גיטרמן, אמיר יהב, שלום בן אריה, יוסי דבוטון, דלית דובר, מיכאל ואטנמכר, טוביה מילוא



הועדה המדעית לגיבוש מדיניות ועקרונות להתרעה מוקדמת מצונאמי בישראל

ירושלים, ספטמבר 2014

הוצאה לאור ע"י המכון הגיאולוגי, רח' מלכי ישראל 30, ירושלים 95501

עיצוב עטיפה: נילי אלמוג

תמונת השער: גלי צונאמי מתקרבים לתחנת הכוח הגרעינית דאיצ'י בפוקושימה, יפן, 11 למרץ, 2011. התמונה פורסמה על ידי חברת החשמל טוקיו, יפן (TEPCO-Tokyo Electric Power Co)

המקור לתמונה: http://content.time.com/time/photogallery/0,29307,2058823_2276624,00.html



H36/2014



GSI/16/2014



GII 030/797/14



המלצה למדיניות, עקרונות התרעה ומסגרת להיערכות לצונאמי בישראל

**הועדה המדעית לגיבוש מדיניות ועקרונות להתרעה מוקדמת
מצונאמי בישראל**

עמוס סלמון, סרגיו דב רוזן, יפים גיטרמן, אמיר יהב, שלום בן אריה,
יוסי דבוטון, דלית דובר, מיכאל ואטנמכר, טוביה מילוא

ירושלים, ספטמבר 2014

דוח משותף:

1. המכון הגיאולוגי (מג"ל), דו"ח מס' GSI/16/2014
2. חקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל), דו"ח מס' H36/2014
3. אגף סיסמולוגיה, המכון הגיאופיסי לישראל (מג"י), דו"ח מס' GII 030/797/14
4. חטיבת תורה, הדרכה ותרגילים, משרד הביטחון – רשות חירום לאומית (להלן רח"ל)¹
5. ועדת ההיגוי להיערכות ישראל לרעידת אדמה
6. ענף הנדסה ומיגון, פיקוד העורף (פקע"ר, צה"ל)
7. הפקולטה להנדסה, אוניברסיטת תל אביב
8. השרות ההידרולוגי, רשות המים
9. החטיבה למטאורולוגיה מבצעית, השרות המטאורולוגי (שמ"ט)

¹ הדוח הוכן בעת שחטיבת תורה, הדרכה ותרגילים פעלה במסגרת המשרד להגנת העורף. כעת, בהתאם להחלטת הממשלה מספר 1661 מיום 01.06.2014, בוטל המשרד להגנת העורף, סמכויות השר להגנת העורף הועברו לשר הביטחון ושטח הפעולה של רשות החירום הלאומית (רח"ל) הועבר מהמשרד להגנת העורף למשרד הביטחון.

הרכב הועדה:

1. **דר' עמוס סלמון**, מזכיר הועדה, המכון הגיאולוגי וחבר משלחת ישראל ב- ICG/NEAMTWS
2. **אינג' סרג'יו דב רוזן**, המכון לחקר ימים ואגמים, איש הקשר הלאומי וראש משלחת ישראל ב- ICG/NEAMTWS וחבר ועדת ההיגוי של ICG/NEAMTWS
3. **דר' יפים גיטרמן**, האגף לסיסמולוגיה במכון הגיאופיסי ונציג המוקד הלאומי להתרעה מצונאמי ל-ICG/NEAMTWS
4. **מר אמיר יהב**, ראש חטיבת תורה, הדרכה ותרגילים, משרד הביטחון – רשות חירום לאומית
5. **תא"ל (מיל') שלום בן אריה**, ועדת ההיגוי להיערכות ישראל לרעידת אדמה
6. **מר יוסי דבוטון**, חטיבת תורה, הדרכה ותרגילים, משרד הביטחון – רשות חירום לאומית
7. **סא"ל דלית דובר**, ראש ענף הנדסה ומיגון, פקע"ר, צה"ל
8. **רס"ן מיכאל ואטנמכר**, רמ"ד הנדסת המיגון והנדסת החילוץ, פקע"ר, צה"ל
9. **פרופ' טוביה מילוא**, יו"ר הועדה, הפקולטה להנדסה, אוניברסיטת תל אביב

יועצי הועדה:

1. **דר' עמיר גבעתי**, השרות ההידרולוגי, רשות המים, ראש המחלקה למים עיליים, בנושא הצפה בנחלים
2. **מר ניר סתיו**, סגן מנהלת השרות המטאורולוגי, מנהל החטיבה למטאורולוגיה מבצעית, בנושא תקשורת GTS והפעלת חדר בקרה 24/7

תוכן העניינים

ג	רשימת איורים	
ג	איורים נספח ב'	
ז	איורים נספח ג'	
ז	רשימת טבלאות	
ז	טבלאות נספח ב'	
ה	תקציר מנהלים והמלצות אופרטיביות	
1	מבוא ומטרות	1
2	1.1 תכנית העבודה של הועדה	1.1
4	הערכת הסכנה מצונאמי בישראל	2
5	2.1 ספקטרום אירועי הצונאמי הצפויים בישראל ותנאי הסף להיווצרותם	2.1
6	2.2 זמן ההתרעה	2.2
6	2.3 ההסתברות להתרחשות אירועי צונאמי בישראל	2.3
8	2.4 האירוע החמור ביותר בישראל וסביבתה הקרובה	2.4
11	2.5 רום ומרחקי הצפה מרביים הצפויים בישראל	2.5
12	2.6 גורמים סביבתיים אשר עשויים להשפיע על גובה הצונאמי בישראל	2.6
14	2.7 נזק מצונאמי בישראל	2.7
15	המלצה למדיניות ועקרונות התרעה מצונאמי	3
15	3.1 התרעה מצונאמי, מ"קצה לקצה"	3.1
17	3.2 אי וודאות ושיקולים מובנים בתהליך ההחלטה על ההתרעה	3.2
20	3.3 תהליך מתן ההתרעה לצונאמי לאחר רעידת אדמה רחוקה	3.3
20	3.4 קריטריונים למתן התרעה	3.4
24	מסגרת להיערכות ותקינה ייעודית לצונאמי בישראל	4
24	4.1 מסגרת להיערכות לצונאמי במדינת ישראל	4.1
26	4.2 תקינה ייעודית לבניה עמידה לצונאמי בישראל	4.2
26	המרכז הלאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי, "נחשול נצפה" - הרעיון המסדר	5
27	5.1 מרכז "נחשול נצפה" – המטלה המרכזית	5.1
28	5.2 מרכז "נחשול נצפה" בעל יכולת פעולה עצמית, עצמאית ומבצעית	5.2
29	5.3 מיקומו של מרכז "נחשול נצפה" בישראל	5.3
30	5.4 מערכת לזיהוי צונאמי בזמן אמת	5.4
31	מבנה מוצע למרכז "נחשול נצפה" על בסיס מסרים בינלאומיים	6
31	6.1 הקמת המערכת בשלבים	6.1
32	6.2 תפקידי המרכז הלאומי "נחשול נצפה"	6.2
32	6.3 דרישות הסף ממרכז "נחשול נצפה"	6.3
33	6.4 ערוצי התקשורת להפצה וקליטת מסרים מספקי האזהרה באירופה	6.4
34	6.5 קבלת מסרי האזהרה במרכז "נחשול נצפה"	6.5

35.....	6.6	מסרי אזהרה מצונאמי ברשת הבינלאומית
37.....	6.7	תהליך העברת המסרים במדינת ישראל
37.....	6.7.1	תהליך ההתרעה מצונאמי מרעידת אדמה רחוקה מחופי ישראל
39.....	6.7.2	מצבים מוגדרים להתרעה על אירוע צונאמי
40.....	6.7.3	הפעלת התרעה לאומית/אזורית
	6.8	עץ החלטות למתן התרעה מוקדמת מצונאמי בישראל על פי מסרים מספקי האזהרה הבינלאומיים
41.....	6.8.1	לוח זמנים לקבלת החלטות באירוע צונאמי מרחוק
44.....	6.9	תרגול שוטף
	6.10	אספקת נתונים של מערכות הניטור הסיסמי ומפלס הים בזמן אמת לספקי האזהרה מצונאמי במערכת ICG/NEAMTWS
45.....	6.11	השתתפות בפעילות ICG/NEAMTWS
45.....	6.12	התרעה מצונאמי בישראל - תמונת מצב נוכחית והצורך בהחלטת ממשלה
46.....	7	הקמת צוות התרעה לאומי לאירוע צונאמי - צוות "מגדלור"
47.....	8	המלצות אופרטיביות – מכאן ולאן
47.....	8.1	המלצות לביצוע מידי
50.....	8.2	תכנית לקידום הידע בתחום הצונאמי בישראל
54.....	9	תודות
54.....	10	רשימת המקורות
60.....		נספח א' החלטת ממשלה 4738 (רעד/20) בנושא מערך ההתרעה "מים אדירים"
61.....		נספח ב' רקע מדעי - תופעת הצונאמי
61.....		ב' 1 תיאור התופעה והגורמים לה
64.....		ב' 1.1 הגדרות ומושגי יסוד לתיאור כמותי של תופעת הצונאמי
64.....		ב' 2 צונאמי בישראל
64.....		ב' 2.1 מקורות המידע על צונאמי בישראל
66.....		ב' 2.2 רשימת אירועי הצונאמי שהתרחשו בישראל
66.....		ב' 2.3 מידע כמותי על צונאמי בישראל
67.....		ב' 2.4 מודלים ממוחשבים של תרחישי צונאמי
69.....		ב' 3 תיאור הסכנה (HAZARD) וקביעת המדיניות להתרעה מוקדמת מצונאמי
69.....		ב' 3.1 ספקטרום אירועי הצונאמי הצפויים בישראל
76.....		ב' 3.2 מאפייני הצפה ונסיגה אפשריים מצונאמי בישראל
78.....		ב' 3.3 גורמים אשר עשויים להשפיע על רום והצפה מצונאמי בישראל
79.....		ב' 3.4 נזק מצונאמי
83.....		ב' 4 רשימת המקורות
		נספח ג' מבנה מערכת ההתרעה מצונאמי במקרה של קבלת הודעות בינלאומיות מספקי האזהרה האירופאים במזרח הים התיכון
84.....		ג' 1 מבנה מערכת התרעה מצונאמי של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית ל-NEAMTWS
85.....		
86.....		ג' 1.1 איש קשר לאומי לצונאמי - Tsunami National Contact (TNCs)
		ג' 1.2 נציג המוקד הלאומי להתרעה מצונאמי Tsunami Warning Focal Point(TWFP)
87.....		

87	ג' 1.3 מרכז התרעה לאומי מצונאמי - (NTWC) National Tsunami Warning Centre
88	ג' 1.4 ספק אזהרה מצונאמי-(TWP) Tsunami Watch Provider
89	ג' 1.5 סיכום התפקיד והדרישות מהגורמים המעורבים במתן התרעה מצונאמי
91	ג' 2 נהלי העבודה של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית ICG/NEAMTWS
91	ג' 2.1 הודעות צונאמי
96	ג' 2.2 נהלים תפעוליים
100	ג' 2.3 סוגי ההודעות
102	ג' 2.4 הגדרות מצב האזהרה
104	ג' 2.5 תבנית ותוכן של מסרי הצונאמי
109	ג' 3 רשימת המקורות
110	נספח ד' מילון מונחים, מושגים והגדרות בנושא התרעה מצונאמי
115	נספח ה' מאפיינים, סימנים מקדימים והנחיות התנהגות בעת צונאמי

רשימת איורים

	איור 1 מבנה סכמטי למערך ההתרעה "מים אדירים" ותהליך ההתרעה "מקצה לקצה"
	איור 2 א' מפת אירועי צונאמי שנוצרו באגן המזרחי של הים התיכון
	איור 2 ב' מפת אירועי צונאמי מקומיים שפגעו בחוף המזרחי של הים התיכון
	איור 3 מפת האזורים המועדים להצפה מצונאמי לאורך חופי גוש דן
	איור 4 האזורים המועדים להצפה בחופי גוש דן בתרחיש צונאמי מרעידה ליד כרתים
	איור 5 האזורים המועדים להצפה במפרץ חיפה בתרחיש צונאמי מגלישה תת ימית מול חיפה
	איור 6 סכמת הפעולה של מערכת ההתרעה הבינלאומית לים התיכון ואירופה, מקצה לקצה
	איור 7 הגיאוגרפיה של אזורי הסיכון ליצירת צונאמי שעלול לפגוע בישראל, מבט <u>אזורי</u>
	איור 8 הגיאוגרפיה של אזורי הסיכון ליצירת צונאמי שעלול לפגוע בישראל, מבט <u>מקומי</u>
	איור 9 אזורי הכיסוי ומיקום ספקי ההתרעה של המערכת בצפון מזרח האוקיאנוס האטלנטי, בים התיכון ובימים המקושרים אליהם
	איור 10 מבנה מוצע למערך "מים אדירים" ותהליך העברת מסרי התרעה מקצה לקצה
	איור 11 עץ החלטות של מרכז "נחשול נצפה" בתהליך ההתרעה מצונאמי

איורים נספח ב'

	איור ב' 1 תרחיש צונאמי מרעידת אדמה במגניטודה 8.3 בקשת ההלנית, מדרום לרודוס
	איור ב' 2 תרחיש ממוחשב של צונאמי מגלישה תת ימית מול חופי גוש דן
	איור ב' 3 הגדרות מונחי יסוד לגלי צונאמי תוך שימוש ברישום גלי צונאמי ביפן, 11 במרץ 2011

הפרמטרים המקובלים לתיאור כמותי של תופעת הצונאמי בקרבת החוף	איור ב' 4
רישום גלי צונאמי בנמל יפו לאחר רעידת אדמה בים האגאי, יוון, בתאריך 9/7/1956	איור ב' 5
מפת הצפה מרבית ונסיגה מרבית באזור תל אביב כתוצאה מצונאמי בעקבות רעידת אדמה ליד כרתים במגניטודה Mw 8.4	איור ב' 6
גובה גל מרבי ומפת הצפה מרבית בעמק זבולון כתוצאה מצונאמי בעקבות רעידת אדמה ליד כרתים במגניטודה Mw 8.4	איור ב' 7
תהליך ההצפה מצונאמי בנמל מיאקו, יפן, באירוע הגדול, מרץ 2011	איור ב' 8
מרכיבי הסיכון לבני אדם כתוצאה מצונאמי	איור ב' 9

איורים נספח ג'

מבנה אופייני ומסגרת הפעולה של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית להתרעה מצונאמי בים התיכון ואירופה	איור ג' 1
---	-----------

רשימת טבלאות

רמות אזהרה מצונאמי והעברתם כמסרים במערך "מים אדירים"	טבלה 1
אירועי צונאמי היסטוריים שפגעו בחופי מזרח הים התיכון	טבלה 2
טבלת החלטה להתרעה מצונאמי בישראל על פי מאפייני רעידת האדמה	טבלה 3
סוגי הודעות (מסרים) האזהרה הבינלאומיות מצונאמי, מהקל אל הכבד	טבלה 4 א'
טבלת המרה של סוגי המסרים המשמשים לתקשורת בין מערכות ההתרעה מצונאמי	טבלה 4 ב'
רמות הסיכון מצונאמי במסרי אזהרה מספקים בינלאומיים	טבלה 5
מילות מפתח להגדרת מידת הסיכון מצונאמי במסרי אזהרה מספקים בינלאומיים	טבלה 6
סוגים של הודעות האזהרה מצונאמי	טבלה 7
סרגל זמנים לטיפול באירוע צונאמי מרחוק – מצב רצוי	טבלה 8
סרגל זמנים לטיפול באירוע צונאמי מקומי – מצב רצוי	טבלה 9

טבלאות נספח ב'

המאפיינים של המקורות הפוטנציאליים לצונאמי באגן המזרחי של הים התיכון	טבלה ב' 1
נזקים שדווחו באירועי צונאמי היסטוריים	טבלה ב' 2

טבלאות נספח ג'

הגדרות התפקיד והדרישות עבור ספקי האזהרה, מרכזי ההתרעה הלאומיים ונציגי המוקד הלאומי להתרעה	טבלה ג' 1
רמות הסיכון מצונאמי במסרים של ספקי ההתרעה מצונאמי באירופה	טבלה ג' 2
מילות מפתח להגדרת רמות הסיכון מצונאמי במסרים של ספקי התרעה באירופה	טבלה ג' 3
סוגים של הודעות האזהרה מצונאמי	טבלה ג' 4
טווחי השפעה של צונאמי	טבלה ג' 5
נקודות החיזוי לאורך חוף הים התיכון בישראל במקרה של צונאמי	טבלה ג' 6
הערכה ראשונית של משך הזמן ואי הוודאות בחישוב פרמטרים של רעידת אדמה ברשת הסיסמית הישראלית	טבלה ג' 7

תקציר מנהלים והמלצות אופרטיביות

הועדה המדעית מונתה במרץ 2013 על ידי דר' גידי בר, מנהל (בפועל) של מינהל המחקר למדעי האדמה והים, על בסיס החלטת הממשלה מס' 4738 (רעד/20) מיום 21 במאי 2012 שפורסמה ברשומות וקיבלה תוקף ביום 7 ביוני 2012. ההחלטה מורה למינהל זה לתכנן, להכין ולתפעל מערך להתרעה מצונאמי בחוף הים התיכון של ישראל, "מים אדירים". הועדה הורכבה מנציגים של גופי המחקר המדעיים של מינהל המחקר למדעי האדמה והים, כמו גם מנציגי הגופים האופרטיביים האחראים על מתן המענה בשעת חירום בישראל, והתמקדה בהערכת הסכנה (hazard) וגיבוש מדיניות ועקרונות התרעה מצונאמי בישראל. עיקרי הממצאים וההמלצות האופרטיביות מוצגים להלן.

1 הערכת הסכנה מצונאמי בישראל

הערכת הסכנה לאירוע צונאמי בישראל מתבססת על מקורות היסטוריים של כ- 22 אירועים שפגעו בחוף המזרחי של הים התיכון, מהם כ- 10 בישראל, ועל רישום יחיד בנמל יפו של הצונאמי שארע לאחר רעידת האדמה בים האגאי בשנת 1956. המידע שהצטבר במחקרי שטח מוגבל בהיקפו. ניתוח האירועים הללו בשילוב עם מידע על רעידות אדמה, טקטוניקה ומפות עומק של תצורת קרקעית מזרח הים התיכון, כמו גם תרחישים ממוחשבים, מאפשרים לקבוע את המסקנות הבאות:

1.1 מקורות עיקריים לצונאמי בישראל

- קיימים שני מקורות עיקריים לצונאמי שעלולים לפגוע בחוף הים התיכון של ישראל:
- א. גלישות קרקע תת-ימיות מול חופי ישראל ובדלתה של הנילוס לאחר רעידות אדמה במגניטודה 6 ומעלה, בחלקן יבשתיות, המרוחקות עד כ 100 קמ' מהחוף. מוכרים כ- 8 אירועים כאלה, במופע זמן ממוצע של אחת ל- 250 שנה.
 - ב. רעידות אדמה במזרח הים התיכון במגניטודה 7 ומעלה, בעיקר באזור כרתים-רודוס-קפריסין. מוכרים שני אירועים מסוג זה, אחת ל- 1,000 שנה בקירוב.
 - ג. ייתכן אירוע שמקורו בהתפרצות הרי געש בים האגאי אך בהסתברות נמוכה.

1.2 זמן ההתרעה

זמן ההתרעה מהיווצרות הצונאמי בים התיכון ועד הגיעו לחוף הישראלי עומד על דקות ספורות במקרה של רעידת אדמה מקומית, וכחצי שעה עד שעתיים לאחר רעידה באזור קפריסין או כרתים, בהתאמה.

1.3 ההסתברות הכוללת לאירוע צונאמי בישראל

ההסתברות לצונאמי בישראל הינה אחת ל-200 שנה בקירוב. בדומה לרעידות אדמה התופעה חוזרת על עצמה ואולם היא אינה מסודרת בזמן ולא ניתנת לחיזוי. אירועי צונאמי שכיחים פחות מרעידות אדמה. יחד עם זאת, ההסתברות לצונאמי לאחר רעידה מקומית עולה עם המגניטודה ונאמדת ב-1:7 לאחר מגניטודה בסביבות 6 ו-1:3 לאחר מגניטודה בדרגה 7.

1.4 הצונאמי החמור ביותר

אירוע הצונאמי החמור ביותר במזרח הים התיכון שעלול לפגוע בישראל צפוי לאחר רעידת אדמה באזור רודוס-כרתים במגניטודה 8 - 8.5 לערך. ממדיו של הצונאמי החמור ביותר לאחר גלישת קרקע מקומית אינם ידועים, יתכן כתוצאה מגלישה תת-ימית בנפח של מספר רב של קילומטרים (!) מעוקבים.

1.5 רום ומרחקי הצפה מרביים

המידע הכמותי על אירועי צונאמי בישראל מועט. הניסיון מהעולם ושימוש במודלים ממוחשבים שנעשו בארץ מלמדים שאזורים שטוחים ופתחי נחלים רגישים יותר להצפה ואילו אזורים תלולים וצוקים מוגנים יותר. מפות ראשוניות של האזורים המועדים להצפה במפרץ חיפה, גוש דן ואשדוד-אשקלון, פורסמו על ידי המכון הגיאולוגי (להלן מג"ל) בשנת 2009.

1.6 גורמים סביבתיים אשר עשויים להשפיע על גובה הצונאמי בישראל

מצב הים ומועדיו (גאות ושפל), סערות ונשיבת הרוח עלולים להשפיע על גובה הצונאמי בקרבת החוף ועל מידת ההצפה, אך אלה טרם נלמדו באופן כמותי. עליית מפלס הים

כתוצאה משינויי אקלים מוערכת ב 0.5 עד 1 סמ' לשנה והשלכותיה על צונאמי אינן משמעותיות בטווח השנים הקרובות. צונאמי בזמן שיטפון יבשתי יגרום להערמות מים חריגה במוצא הנחלים לים וירחיב את השטחים המוצפים, אולם ההסתברות לכך נמוכה.

1.7 נזק מצונאמי בישראל

דיווחים היסטוריים מלמדים על אבדות בנפש ונזק לנמלים וערי חוף בשליש מהאירועים לערך. יחד עם זאת, בניה אינטנסיבית של תשתיות חופיות, התיישבות צפופה ותרבות פנאי וספורט חופי וימי בהיקפים שלא היו קיימים בעבר, מגדילים את הסיכון (risk) לנזקי צונאמי בישראל של היום ובעתיד באופן משמעותי ביחס לעבר.

2 המלצה למדיניות ועקרונות התרעה מצונאמי

2.1 התרעה על אירוע צונאמי "מקצה לקצה"

המידע ההיסטורי והעכשווי מלמד שחופי הים התיכון של ישראל חשופים לאירועי צונאמי בעלי פוטנציאל נזק משמעותי. זוהי סכנה נדירה יחסית אך בעלת פוטנציאל הרס משמעותי שעלול להיות בלתי נסבל ברמה הלאומית.

לפיכך, ולאור הניסיון שהצטבר בעולם ובמדינות השוכנות לאורך חופי הים התיכון, הועדה ממליצה על הקמה, או הכרזה על מוסד קיים, של הגופים הבאים אשר ירכיבו את מערך ההתרעה "מים אדירים":

- א. מרכז לאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי (יקרא מרכז "נחשול נצפה") אשר יהיה אחראי על גיבוש החלטה בזמן אמת בדבר הסבירות להתרחשות אירוע צונאמי בישראל והעברתה לצוות ההתרעה הלאומי (פרוט בפרק 4, עמ' ח', בתקציר זה).
- ב. צוות התרעה לאומי לאירוע צונאמי (יקרא צוות "מגדלור") אשר יחליט בזמן אמת על ההתרעה הנדרשת על בסיס ההמלצה של מרכז "נחשול נצפה" ויעבירה למרכזי ההפעלה האופרטיביים הפועלים 24/7 (24 שעות ביממה, שבעה ימים בשבוע, כל השנה, ברציפות). בישראל (פרטים נוספים בפרק 5, עמ' יי בתקציר זה).

על שני הגופים הללו תוטל האחריות לנהל את תהליך ההתרעה "מקצה לקצה" בזמן אמת, החל מגילוי רעידת האדמה שעלולה לחולל צונאמי, אימות הצונאמי במערכת חיישנים מתאימה, עיבוד המידע, הערכת מצב, קבלת החלטה מושכלת על התרעה לצונאמי, והעברת המסר לגופים האופרטיביים והמוסדות הנדרשים, ועד לאחרון האזרחים המאוימים.

2.2 שיפור המוכנות והמענה לצונאמי

במקביל להקמת מרכז "נחשול נצפה" וצוות "מגדלור", יש לבנות יכולת לנטר ולנתח רעידות אדמה רחוקות באגן המזרחי של הים התיכון עד לאזור "הקשת ההלנית" לפחות, במחויבות ואחריות 24/7 כך שלמדינת ישראל תהיה היכולת להתריע מצונאמי ללא תלות במסרים בינלאומיים. כמו כן, יש לשפר את המוכנות והמענה האופרטיבי הלאומי ובמקביל להעמיק את המחקר בישראל, במטרה לייעל ולקצר את תהליך וזמני ההתרעה, ובסופו של דבר למזער את מספר הנפגעים בנפש ואת הנזק במידת האפשר.

2.3 תהליך ההתרעה מצונאמי מרעידת אדמה רחוקה מחופי ישראל

תהליך זה מכיל בתוכו אי וודאות ושיקולים מובנים שעשויים או עלולים להשפיע על מהות ההתרעה, ועל כן נדרשת התרעה מושכלת תוך התחשבות בגורמים הבאים:

א. בזמן אמת לא ניתן לקבוע בדיוק סביר את הפרמטרים של רעידת אדמה בעלת פוטנציאל ליצירת צונאמי ולכן ניתוח האירוע והערכת הסכנה מתבססים על מידע ראשוני בלבד.

ב. רק חלק מרעידות האדמה בעלות הפוטנציאל ליצירת צונאמי אכן יוצרות צונאמי.

ג. בטכנולוגיה הקיימת ופועלת כיום במזרח הים התיכון לא ניתן לדעת אם צונאמי אכן נוצר בעקבות רעידת אדמה ומהי עוצמתו, אלא רק כאשר הוא כבר הגיע לחוף, וזאת עקב מחסור באמצעי זיהוי בתפוצה מספקת.

ד. בדומה לרעידות אדמה, גם גלי הצונאמי אינם אחידים בגודלם ובפוטנציאל ההרס שלהם. מאחר והמסר המתריע שמתקבל מספקי ההתרעה הבינלאומיים לאירוע צונאמי הינו כללי בלבד, לא ניתן להעריך את הנזק הצפוי בזמן אמת.

ה. פוטנציאל הנזק תלוי גם במועדי הים, עונות השנה והיוממות, כך שתוצאותיו של אירוע בליל חורף סוער שונות בתכלית מתוצאותיו של אירוע במהלך חופשת הקיץ.

ו. מחירה של הימנעות מהתרעה מצונאמי עלול להיות בלתי נסבל ברמה הלאומית, בשל פוטנציאל הנזק העצום מצונאמי.

ז. המענה המידי להתרעה מצונאמי כרוך בפניו מידי של האוכלוסייה הנמצאת באזור החופי המועד להצפה מצונאמי ובפעולות חירום במתקני תשתית באותו אזור.

ח. התרעות שווא עלולות לשבש את שגרת חיי האוכלוסייה ולגרום לנזק ולהפסדים כלכליים כבדים, ובהמשך אף לאובדן אמון במערכת ההתרעה.

בהינתן מכלול השיקולים הללו, בשל אי הוודאות ובפרט מחירה של טעות בהתרעה, הועדה ממליצה לנקוט בגישה מדורגת בעלת שני שלבים במתן ההתרעה לצונאמי מרעידת אדמה רחוקה² לאוכלוסייה האזרחית ולתשתיות הלאומיות באזור המועד באופן הבא:

- **במידה ובמרכז "נחשול נצפה" גובשה החלטה שקיימת סבירות גבוהה לצונאמי בישראל על פי קריטריונים וטבלת החלטה (Decision Matrix) שייקבעו מראש, יועבר הדיווח להתייעצות עם צוות "מגדלור", והוא אשר יחליט ויכריע על אופי ההתרעה: 'היכון', 'הפעל', 'ביטול היכון', 'ביטול הפעל', ו- 'חזרה לשגרה'. ההחלטה תועבר למרכזי ההפעלה האופרטיביים הפועלים 24/7.**
- **במידה ובמרכז "נחשול נצפה" התברר בוודאות שצונאמי משמעותי אכן נוצר על פי קריטריונים וטבלת החלטה שנקבעו מראש, יתריע מרכז "נחשול נצפה" ישירות למרכזי ההפעלה האופרטיביים.**

² יהיה צורך לקבוע את תהליך התרעה מצונאמי לאחר רעידת אדמה קרובה במסגרת המשך לוועדה זו

הניסיון מלמד שלא ניתן לחזות מראש את כל מצבי הביניים האפשריים ועל כן תמיד תידרש החלטה מושכלת של מרכז "נחשול נצפה" ושל צוות "מגדלור".

2.4 מצבים מוגדרים להתרעה על אירוע צונאמי

א. **מצב ראשון - התרעת 'היכון':** התרעה זו תופץ כאשר קיימת סבירות מסוימת לצונאמי (כפי שתוגדר מראש בטבלת ההחלטות) ומטרתה להעלות את רמת המוכנות בגופים האופרטיביים ובתשתיות הלאומיות הפרוסים לאורך החופים המועדים להצפה בישראל. שלב זה נועד לקצר לוחות זמנים במידה ובהמשך יוחלט על 'הפעל'.

בשלב זה אין עדיין התרעת צונאמי לאוכלוסייה.

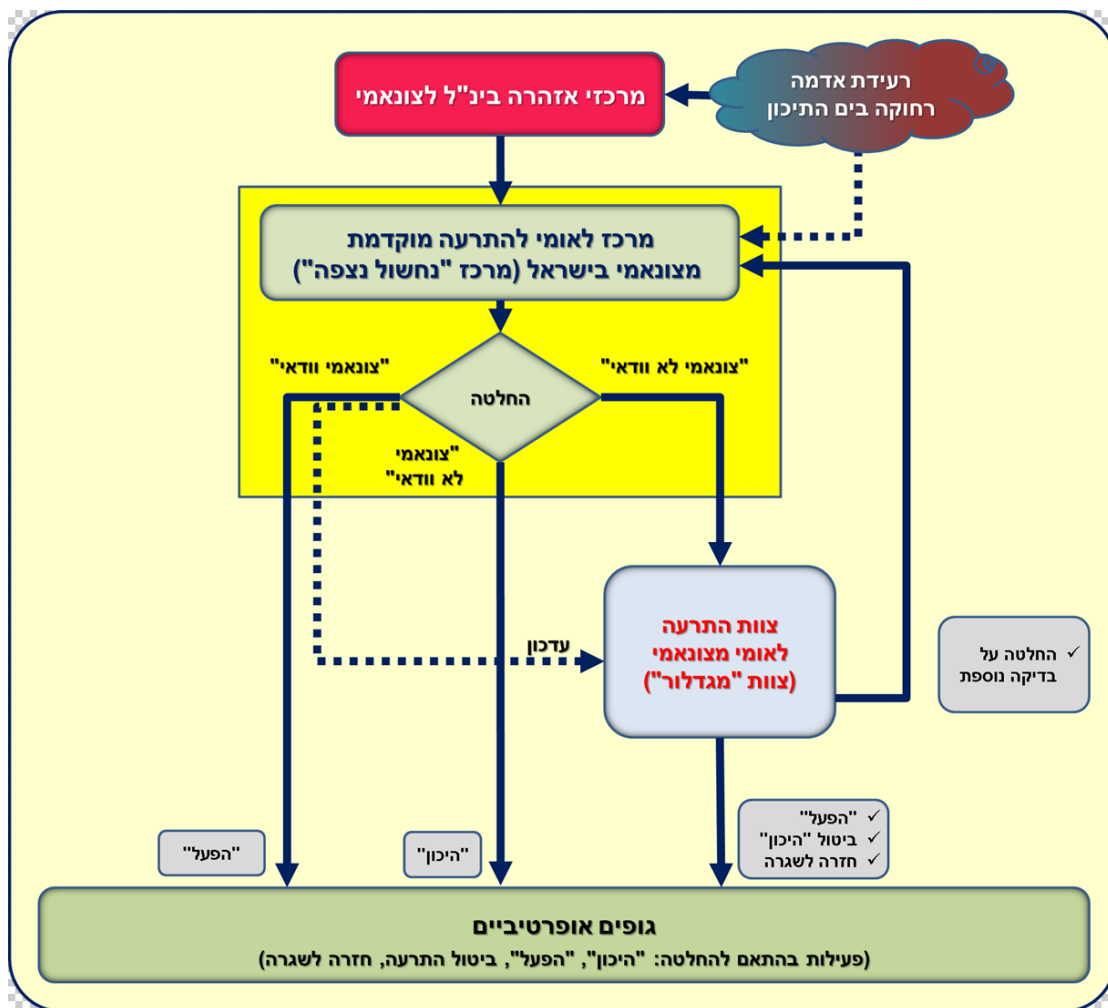
ב. **מצב שני - 'הפעל':** התרעה זו תופץ לכלל הגורמים האופרטיביים במדינה כאשר קיימת סבירות גבוהה או וודאות לאירוע צונאמי בחופי ישראל, בהתאם לקריטריונים שנקבעו מראש ובהסתמך על חוות הדעת של מרכז "נחשול נצפה".

במצבי ביניים בהם לא ניתן לקבל החלטה חד משמעית - הסמכות לקבלת החלטה מוטלת על נציג מערך החירום בצוות "מגדלור".

ג. **מצב שלישי - 'ביטול היכון', או 'ביטול הפעל', או 'חזרה לשגרה':** כאשר מתברר שלא נוצר אירוע צונאמי יש להוציא הודעות 'ביטול היכון' או 'ביטול הפעל', בהתאם. במידה ונוצר אירוע, הרי שבסיומו יש להודיע על 'חזרה לשגרה'.

זרימת המידע בתהליך ההתרעה מצונאמי מ"קצה לקצה" מתוארת באופן סכמתי באיור

מס' 1 להלן:



איור 1: מבנה סכמתי מוצע למערך ההתרעה מצונאמי בישראל "מים אדירים" ותהליך ההתרעה "מקצה לקצה"

2.5 קריטריונים להחלטה על מתן התרעה לצונאמי

מומלץ לבסס את הקריטריונים להתרעה על פי טבלת ההחלטה (Decision Matrix) הנהוגה באירופה ובעולם, כפי שעובדה והותאמה לתנאים הייחודיים בישראל (Salamon,

2010).

3 מסגרת כמותית להיערכות מדינת ישראל לצונאמי

מוצע לבסס את המסגרת להיערכות מדינת ישראל לצונאמי על האירועים ההיסטוריים החמורים ביותר שחלו באזור בעלי זמן חזרה של כאלף שנה³, בדומה לקריטריון ששימש לקביעת המסגרת הלאומית להיערכות לרעידות אדמה בישראל (הסתברות של 5% לנזק בתקופה של 50 שנה, שפירא, 2011). מסגרת זו תגדיר בפני הרשויות המקומיות, התשתיות הלאומיות והגופים האופרטיביים בישראל מהם האירועים שאליהם הם צריכים להיערך. על בסיס האירועים הללו יערכו הדמיות מחשב וייקבעו הפרמטרים המאפיינים כדוגמת גובה גל מרבי בקו החוף, רום ומרחק הצפה מרבי. משרדי הממשלה יידרשו לנתח את המשמעויות הנגזרות מתרחישים אלה לגבי ההשפעה והנזקים האפשריים בתחום אחריותם.

הניסיון שהצטבר מהרצת תרחישי צונאמי עדכניים במכון לחקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל) מלמד שישנם אזורים המועדים להצפה גם מעבר למסומן במפות שנערכו במג"ל, כאשר רום ההצפה עלול להגיע בכמה מקומות הקרובים לחוף עד לגובה של 10 מ' מעל פני הים. מפות הצפה עדכניות ברזולוציה גבוהה נמצאות כעת בהכנה ותפורסמה בעתיד הקרוב. עד אז הועדה סומכת ידיה על מסמך המסגרת להיערכות לצונאמי שפורסם על ידי יו"ר ועדת ההיגוי להיערכות מדינת ישראל לרעידות אדמה (שפירא, 2013).

4 המרכז הלאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי "נחשול נצפה" - הרעיון המסדר

4.1 רקע

זהו מרכז מדעי הכולל אנשי מקצוע בתחום הסיסמולוגיה, הגיאולוגיה והים, מומחים בתחומם ובעלי ידע וניסיון בהבנה וניתוח תופעת הצונאמי ומאפייניה ובקיאיים בתהליך מתן התרעה מצונאמי. המרכז יכיל את כל המרכיבים העיקריים הנדרשים לעבודה "מקצה לקצה", ויפעל ביעילות, במהירות, באמינות ובמקצועיות בזמן אמת; לרבות יכולת גיבוי,

³ א. יש להבדיל בין תקופת החזרה (אלף שנה) שנקבעה עבור המסגרת להיערכות גופי המענה האופרטיביים בישראל, לבין תקופת החזרה שנקבעה עבור תקני בניה (חמש מאות, אלף או אלפיים וחמש מאות שנה, כתלות בחשיבות המבנה), שנועדה לצרכים הנדסיים.
ב. בהגדרת המסגרת להיערכות לצונאמי יידרש להתחשב בשונות ואי הוודאויות הכרוכים בהופעתן של רעידות האדמה האופייניות ושל הצונאמי שהן עלולות לחולל.

יתירות והגנת סייבר כדי לתפקד ברמת שרידות גבוהה בשעת חרום, מניעת ניצול לרעה של תשתית ההתרעה הלאומית ופגיעה אפשרית בחוסן הלאומי ובתשתיות הלאומיות.

הועדה ממליצה להטיל את האחריות על הקמה או הכרזה על מקום קיים כמרכז לאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי בישראל (מרכז "נחשול נצפה"), בעדיפות ראשונה על האגף לסיסמולוגיה במכון הגיאופיסי לישראל, בתיאום עם משרד הביטחון-רח"ל. במסגרת זו יידרש המרכז לבנות יכולת עצמית ועצמאית - ללא תלות הכרחית במסרים בינלאומיים, להתריע מצונאמי כתוצאה מרעידות אדמה רחוקות וקרובות כאחד, בעלות פוטנציאל לצונאמי שעלול לסכן את חופי מדינת ישראל.

מרכז "נחשול נצפה" יעקוב אחר החלטות והמלצות קבוצת התאום הבין-ממשלתית לים התיכון וחופי אירופה ICG/NEAMTWS, יתאים ויסנכרן את עצמו לדרישות הסף, שיטות העבודה, הנהלים והסטנדרטים כמו גם השפה המשותפת, הנהוגים במערכות של קבוצת התאום הבין-ממשלתית. כמו כן, המרכז יחליט מי יהיה נציג המוקד הישראלי להתרעה מצונאמי (TWFP) במסגרת הפעילות מול ICG/NEAMTWS.

4.2 הקמת מרכז "נחשול נצפה" בשני שלבים

הועדה ממליצה על הקמת מרכז "נחשול נצפה" בשני שלבים:

- **שלב ראשון - הקמה או הכרזה על מקום קיים כמרכז הלאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי על בסיס תשתיות קיימות, בטווח זמן של חודשים ספורים, שיתבסס על קבלת מסרי אזהרה מצונאמי שנוצרו ע"י רעידות אדמה רחוקות במזרח הים התיכון מספקי האזהרה הבינלאומיים של ICG/NEAMTWS ועל ניתוח רעידות אדמה רחוקות במרחב הים התיכון. קבלת המסרים מחו"ל מחייבת אספקת מידע בזמן אמת מתחנות ניטור סיסמיות (רעידות אדמה) וימיות (מפלס ים) הפועלות בישראל לספקי האזהרה הבינלאומיים.**
- **שלב שני ובמקביל - בנייה ופיתוח יכולת עצמית ועצמאית להתרעה מצונאמי לאחר רעידות אדמה רחוקות ורעידות אדמה מקומיות, לרבות בניין הכוח של המרכז**

באמצעים הנדרשים לתפקודו כגוף מבצעי 24/7 והצבת המערכות הסיסמיות ואמצעי הניטור לאימות היווצרות צונאמי בזמן אמת (סעיף 4.3 להלן). המרכז ישאף להסתמך על המערכות הסיסמוגרפיות של ישראל כמקור ראשון ועיקרי להתרעה מצונאמי כאשר המסרים הבינלאומיים מספקי האזהרה מצונאמי של ICG/NEAMTWS מהווים מידע תומך ומסייע לקבלת החלטות.

4.3 מערכת לזיהוי צונאמי בזמן אמת

הועדה ממליצה לבחון קליטה של רכיבים טכנולוגיים כגון מערכת של מספר תחנות מכ"מ בתדר גבוה שיוכלו לזהות צונאמי מבעוד מועד, לפני הגיעו לחוף ישראל, ושילובם במרכז "נחשול נצפה", וזאת בשל אי הוודאות הרבה הכרוכה בהתרעה מצונאמי על בסיס רעידות אדמה בלבד, הסיכוי הסביר לאזהרות שווא והאפשרות להיווצרות צונאמי מקומי מגלישה ימית עקב רעידת אדמה רחוקה חזקה או כשל ספונטאני.

5. הפעלת מרכז "נחשול נצפה" על סמך מסרים מספקי אזהרה בינלאומיים

5.1 תפקידי המערכת

- א. איסוף, עיבוד ותיעוד המידע הסיסמי והימי הנדרשים להוציא התרעה על אפשרות להתרחשות אירוע צונאמי בחופי ישראל.
- ב. חישוב זמני הגעה משוערים של הצונאמי לנקודות החיזוי הלאומיות.
- ג. עיבוד המידע הימי הנדרש לאישור או ביטול התרעה מצונאמי בחופי ישראל.
- ד. המערכת הישראלית תקושר לרשת הדיווח העולמית ותספק נתונים ומידע עדכני שייאספו על ידה. במידה והמרכז הלאומי הישראלי יתנדב לספק אזהרות צונאמי למדינות בחו"ל, הוא יידרש להגיש מועמדות לשמש כספק אזהרות בינלאומי ולעמוד בדרישות הסף שנקבעו על ידי ICG.

5.2 דרישות הסף ממערכת ההתרעה הלאומית

- א. **מהירות** - הפצת התרעה מוקדם ככל האפשר מהרגע בו ייתכן ונוצרו גלי צונאמי, בשאיפה לסרגל זמנים קבוע מראש.
- ב. **דיוק** - מתן התרעה לכל האירועים האפשריים וצמצום התרעות שווא.
- ג. **זמינות ואמינות** - על ידי פעילות רציפה ומתמדת 24/7, ואישור על כך שההודעות אכן מתקבלות במהירות אצל כל הנמענים, והן מובנות להם במלואן.

5.3 ערוצים להפצת מסרי אזהרה מצונאמי ברשת הבינלאומית של ICG/NEAMTWS

- המסרים המופצים כיום על ידי ספקי האזהרה בים התיכון (תורכיה, יוון וצרפת ובעתיד גם איטליה) יתקבלו בישראל במספר ערוצים, כמפורט:
- א. ערוץ ראשי ברשת התקשורת **GTS** - Global Telecommunications System של הארגון המטאורולוגי העולמי.
 - ב. ערוצים תומכים בינלאומיים הכוללים **דוא"ל, פקס ומסרוני SMS**.
- ערוץ GTS נחשב לאמין ולמהיר מכולם וקיים כעת רק בשרות המטאורולוגי (שמ"ט) בבית דגן. יהיה צורך לקשר ערוץ זה ישירות גם למרכז "נחשול נצפה" לכשיוקם ולאגף הסיסמולוגי במכון הגיאופיסי (בנל"ן).
- יש ללוות קבלת כל סוגי המסרים הללו גם בחיווי קולי.

5.4 קליטת המסרים בישראל

- המסרים יקלטו בישראל בו זמנית, בשלושה מוקדים בלתי תלויים:
- א. מרכז "נחשול נצפה".
 - ב. השרות המטאורולוגי.
 - ג. אגף סיסמולוגיה במכון הגיאופיסי.

5.5 תהליך העברת המסרים בתוך מדינת ישראל

המסרים שיקלטו בישראל יטופלו בהתאם לאמור בפרק 2 בתקציר זה לעיל.

5.6 עקרונות הפעלת הכוחות האופרטיביים באירוע צונאמי

- א. הפעלת הכוחות האופרטיביים תעשה על פי רשימות תיוג בצורה אוטומטית.
- ב. הוצאת התרעה והנחיות לאוכלוסייה לצורך מילוט עצמי והצלת חיים.
- ג. הפעלת התרעה לכל התשתיות הלאומיות, הביטחוניות והאזרחיות (ציבוריות ועסקיות) באזורי האיום לצורך שמירה על חיי אדם ומזעור הנזק.
- ד. בחלוף הסכנה או בסיום האירוע תידרש הכרזה לאומית על סיום האירוע ודיווח לכוחות האופרטיביים, לתשתיות השונות ולאוכלוסייה. משמעות ההכרזה היא כי לא צפויים עוד גלי צונאמי מהאירוע הנתון, ניתן להשלים את שלב הצלת החיים ולהתחיל בשיקום האוכלוסייה הראשוני.
- ה. במקרה של התרעת שווא ("היכון" / "הפעל"), תופץ הודעת ביטול מוקדם ככל האפשר, המערכות האזרחיות יוחזרו לשגרה ובהמשך יבוצעו בדיקה ותחקור לשיפור מערך "מים אדירים" במסגרת ועדה ייעודית במשרד הביטחון – רח"ל.

5.7 שפה משותפת

מרכז "נחשול נצפה" יסתמך על שפה משותפת אשר תגשר:

- א. בינו לבין ספקי האזהרה הבינלאומיים.
- ב. בינו לבין צוות "מגדלור" אשר מיישם את ההתרעה ומנחה את הגופים האופרטיביים לפעולה.

כמו כן יידרש לייצר שפה משותפת בין צוות "מגדלור" לבין הגופים האופרטיביים.

5.8 רמות אזהרה

מרכז "נחשול נצפה" יתבסס על מסרי אזהרה בינלאומיים בשלוש רמות, מהקל לחמור, באופן הבא (טבלה 1 להלן):

- א. "שים לב" (Information) - משמעו רעידת אדמה ללא סכנה מצונאמי.
- ב. "אזהרה" (Advice) – משמעו אפשרות לאירוע צונאמי 'קטן'.
- ג. "אזהרה חמורה" (Watch) – משמעו אפשרות לאירוע צונאמי 'גדול'.

טבלה 1: רמות אזהרה מצונאמי והעברתם כמסרים במערך "מים אדירים"

מסרים ממרכזי האזהרה הבינלאומיים למרכז "נחשול נצפה" (המינוח הבינלאומי)	משמעות הדיווח	דיווח ממרכז "נחשול נצפה" לצוות "מגדלור"	דיווח מצוות "מגדלור" לגופים האופרטיביים	דיווח ישיר ממרכז "נחשול נצפה" לגופים האופרטיביים במקרה של צונאמי וודאי
"שים לב" (Information)	רעידת אדמה ללא סכנה מצונאמי בישראל	העברת דיווח והתייעצות	אין דיווח	אין דיווח
"אזהרה" (Advice)	אפשרות לאירוע צונאמי 'קטן'	העברת דיווח והתייעצות	החלטה: "היכון" או "הפעל"	החלטה: "היכון"
"אזהרה חמורה" (Watch)	אפשרות לאירוע צונאמי 'גדול'	העברת דיווח והתייעצות	החלטה: "היכון" או "הפעל"	החלטה: "הפעל"

הערה: מרכז "נחשול נצפה" יפעיל ישירות את הגופים האופרטיביים רק לאחר ניתוח עצמאי של רעידות האדמה הנתמך על מסרים המתקבלים ממערכות בינלאומיות שבעקבותיו יגיע למסקנה שצונאמי וודאי מסכן את חופי ישראל.

5.9 תרגול שוטף

הוועדה ממליצה על קיום סדיר של תרגילים לשמירת מוכנות וכשירות מבצעית של כל הגורמים המעורבים בהפעלת מרכז "נחשול נצפה", צוות "מגדלור", הגופים האופרטיביים, משרדי ממשלה, תשתיות ייעודיות ורשויות מקומיות, לרבות תרגול לאומי בהובלת משרד הביטחון – רח"ל. כמו כן, על המרכז להשתתף בתרגילי התקשורת החודשיים של ספקי האזהרה הבינלאומיים במערכת ICG/NEAMTWS ובתרגילי הצונאמי השנתיים שלה.

5.10 העברת נתונים סיסמיים ונתוני מפלס ים בזמן אמת לספקי האזהרה של - ICG/NEAMTWS

מרכז "נחשול נצפה" יידרש לספק נתונים בזמן אמת של התחנות הסיסמיות ושל תחנות ניטור מפלס הים, בהתאם לסטנדרטים הנדרשים, על מנת להמשיך לקבל אזהרות מהמערכת הבינלאומית ומספקי האזהרה מצונאמי. על המדינה להבטיח את קיומן של רשתות הניטור הללו בצפיפות הנדרשת לכיסוי תחום אחריותן והמשך הפעלתן ותחזוקתן השוטפת לאורך זמן על ידי הגופים המתפעלים ובהתאם לדרישות שהגדיר ה-ICG/NEAMTWS.

5.11 השתתפות בפעילות ICG/NEAMTWS

יש להבטיח השתתפות נציגים ממרכז "נחשול נצפה", צוות "מגדלור" ומהגופים האופרטיביים, בפעילות השוטפת של המליאה וקבוצות העבודה המקצועיות של ICG/NEAMTWS.

6 הקמת צוות התרעה לאומי לאירוע צונאמי (להלן "צוות מגדלור")

במקביל להכרזה על מרכז "נחשול נצפה" (פרק 4 לעיל), יוקם צוות התרעה לאומי לאירוע צונאמי (להלן "צוות מגדלור") אשר יחליט על ההתרעה הנדרשת, יפיץ אותה לגופים האופרטיביים וינחה אותם לפעולה. הצוות יכלול את ממלאי התפקידים הבאים:

- א. יו"ר ועדת ההיגוי לרעא"ד;
 - ב. ראש רשות חירום לאומית במשהב"ט;
 - ג. ראש אגף תאום היערכות לחרום;
 - ד. רח"ט תורה, הדרכה ותרגילים;
 - ה. מנהל מוסד מחקר ממשלתי בתחום מדעי האדמה והים.
- המידע יופץ במקביל גם לידיעת המזכירים הצבאיים של רוה"מ, שהב"ט, מפכ"ל מ"י; והשר לבט"פ.

משמרת מבצעית של "צוות מגדלור" תכלול לפחות שני ממלאי תפקידים באופן הבא:

- א. **נציג מדעי** - יו"ר ועדת ההיגוי לרעא"ד⁴, ובהיעדרו מנהל מוסד מחקר ממשלתי בתחום מדעי האדמה והים כפי שייקבע על ידי מנהל מינהל המחקר למדעי האדמה והים (למשל, מנהל המינהל, מנהל המכון הגיאולוגי - מג"ל, מנהל המכון הגיאופיסי - מג"י, מנהל חקר ימים ואגמים לישראל - חיא"ל, מנהל אגף סיסמולוגיה במג"י).
- ב. **נציג ממערך החירום הלאומי** - ראש רח"ל במשהב"ט, בהיעדרו ראש אגף תיאום והיערכות לחירום, ובהיעדרו – רח"ט תורה, הדרכה ותרגילים.

7 המלצות אופרטיביות – מכאן ולאן

ההמלצות שלהלן מתוות כיווני עשייה לטווח הזמן המידי ופעילות מתמשכת לאורך זמן.

7.1 לביצוע בטווח זמן מידי

בהיעדרה של מערכת אופרטיבית להתרעה מצונאמי בישראל ופערי הידע הקיימים כפי שהתבררו במסגרת הנוכחית, מוצע לקדם באופן מידי הקמה, או הכרזה על מקומות קיימים במסגרת מערך ההתרעה לצונאמי בישראל - "מים אדירים", של: מרכז "נחשול נצפה" וצוות "מגדלור" אשר יתפקדו 24/7 ויטפלו בהתרעה "מקצה לקצה", ולהרחיב את ההבנה והמודעות בנושא צונאמי בישראל, תוך הקצאת המשאבים הדרושה, באופן הבא:

א. **הקמת מרכז "נחשול נצפה"** אשר יתבסס על שני המודולים הבאים:

(1) התרעה מצונאמי בעקבות רעידות אדמה חזקות תת-ימיות רחוקות במזרח הים התיכון, על בסיס קבלת מסרים מהמערכות הבינלאומיות באירופה וניתוח עצמי ועצמאי בישראל של הרעידות הללו.

(2) התרעה בעקבות רעידות אדמה חזקות מקומיות ורחוקות על בסיס יכולת עצמית ועצמאית.

האחריות על הקמה או הכרזה על מקום קיים כמרכז "נחשול נצפה", תוטל בעדיפות ראשונה על האגף לסיסמולוגיה במכון הגיאופיסי לישראל, בתיאום עם רח"ל במשהב"ט. יהיה צורך לבצע בדיקת היתכנות טכנולוגית הנדרשת להקמת מרכז

⁴ במידה והינו איש מדע

"נחשול נצפה" לרבות אומדן עלויות ולוח זמנים צפוי. ממצאי הבדיקה ישמשו בסיס להחלטה על מימון והקמת המערכת בפועל. לאחר הקמת מרכז "נחשול נצפה" יידרש להרחיב את תחום אחריותו לטיפול גם באירועי צונאמי מרעידות אדמה קרובות.

ב. **הקמת צוות "מגדלור"** אשר יתבסס על ממלאי התפקידים הבכירים הבאים:

(1) ראש רח"ל במשהב"ט, ראש אגף תאום היערכות לחרום, רח"ט תורה, הדרכה ותרגילים.

(2) במוסדות המדעיים: יו"ר ועדת ההיגוי להיערכות מדינת ישראל לרעידות אדמה⁵, ובהיעדרו מנהל מוסד מחקר ממשלתי בתחום מדעי האדמה והים כפי שייקבע על ידי מנהל מינהל המחקר למדעי האדמה והים.

(3) שותפים נוספים בצוות, לידיעה במקביל ובזמן אמת, יהיו המזכירים הצבאיים של רוח"מ, שהב"ט מפכ"ל מ"י, והשר לבט"פ.

יש לבחון את האפשרות שצוות "מגדלור" יעמוד בכוננות 24/7 ניידת, ללא צורך בשהיה במקום מוגדר.

ג. **גיבוש תורת המענה לצונאמי בישראל.** הועדה ממליצה על השלמת עבודתו של צוות ההיגוי הבין משרדי לכתובת תכנית לאומית להיערכות מדינת ישראל והתמודדות עם אירוע צונאמי שהוקמה במסגרת רח"ל במשהב"ט.

ד. **קליטה והטמעת מערכת לגילוי צונאמי בים:** על מנת לצמצם את אי הוודאות הרבה הכרוכה בהתרעה מצונאמי וכדי לזהות אירועי צונאמי שמקורם אינו ברעידות אדמה, מומלץ לבחון קליטה של רכיבים טכנולוגיים שיוכלו לזהות צונאמי לפני הגיעו לחוף, ולשלבם במרכז "נחשול נצפה". במקביל, ראוי לבחון שיתוף פעולה בינלאומי בנושא זה.

ה. **קביעה של מסגרת כמותית להיערכות מדינת ישראל לאירועי צונאמי** תגדיר בפני הרשויות המקומיות, התשתיות הלאומיות והגופים האופרטיביים מהו האירוע שאליו

⁵ במידה והינו איש מדע

הם צריכים להיערך. משרדי הממשלה יידרשו לנתח את ההשפעה והנוזקים האפשריים של אירוע זה בתחום אחריותם.

הצעת מחליטים של ממשלת ישראל: יש לתמוך ולתקף את המלצות הועדה הנוכחית בהחלטת ממשלה בדבר הקמת רכיבי המערך להתרעה מוקדמת מצונאמי בישראל "מים אדירים" והקצאת התקציב הנדרש להקמתם ותפעולם השוטף. זהו המשך להחלטה הקודמת מס' 4738 (רעד/20) בנושא זה. רח"ל במשהב"ט בשיתוף ועדת ההיגוי והמינהל למחקר מדעי האדמה והים, יכינו את נוסח הצעת ההחלטה ויקדמו אותה.

7.2 לביצוע מתמשך - תכנית לקידום הידע בתחום הצונאמי בישראל

- א. **הקמת מרכז ידע מדעי-יישומי בנושא צונאמי** אשר יגדיר את הצרכים הנדרשים בנושא בישראל, ירכז את המחקרים והניסיון שנצברו בעולם, ויבצע מחקרי תשתית בשיתוף עם גופי המחקר הלאומיים האחרים בישראל, כל אלה במטרה ליישם ולמזער את הסיכון הפוטנציאלי. המיקום הראוי של מרכז זה הינו במסגרת מכוני המחקר הממשלתיים בתחום מדעי האדמה והים בישראל.
- ב. **הקמת בנק תרחישי צונאמי** לצורך תמיכה בקבלת החלטה מושכלת על התרעה מצונאמי, זאת מאחר והרצת תרחישים אמינים בזמן אמת אורכת זמן רב יותר מזה הנדרש להגעת הצונאמי לחופי ישראל. יידרש ללוות את הקמת מאגר התרחישים במערכת תומכת (למשל, TRIDEC) שתאפשר שליפה אוטומטית ומהירה של התרחיש הרלבנטי במקרה של קבלת אזהרה על אירוע צונאמי בזמן אמת.
- ג. **עתודות כוח אדם מקצועי** – קיים כיום מחסור בכוח אדם מקצועי ולכן יש להכשיר ולהרחיב את מעגל ממלאי התפקידים הנדרשים במרכז "נחשול נצפה".
- ד. **חינוך, הדרכה ומודעות לסכנות מצונאמי** בציבור הרחב ישפרו את המענה ברמת הפרט ועשויים לחסוך בחיי אדם. יש להטמיע הנושא במסגרת תכניות של משרד החינוך ומוסדות אחרים, וכן במדיה התקשורתית לסוגיה.

- ה. **קבלת ייעוץ, הדרכה ותמיכה מגורמים בינלאומיים** לצורך תיאום בין מרכזי ההתרעה הישראלי והבינלאומיים, עמידה בסטנדרטים מקובלים בעולם והעשרת הניסיון המקצועי והמבצעי בארץ.
- ו. **תרגול מתמשך**. לא ניתן להפריז בחשיבותו, הן ברמה הארצית מקצה לקצה, והן בשילוב עם המסגרות הבינלאומיות.
- ז. **ניסוח תקינה ייעודית לבניה עמידה לצונאמי** הכרחי לתכנון הנדסי ראוי של מבנים חדשים כמו גם חיזוק מבנים קיימים, ויהווה מפתח למזעור נזקים. לחילופין ניתן לאמץ תקינה ייעודית בינלאומית. עבור מתקני תשתית חיוניים, הועדה ממליצה לאמץ קריטריון ההסתברותי של אירוע צונאמי עם תקופת חזרה ממוצעת של 2,500 שנה (2% בתקופה של 50 שנה) כפי שיושם בארה"ב (Chock, 2013).
- ח. **בדיקת עמידות מבנים אופייניים** ומתקני תשתיות חיוניים ואסטרטגיים לצונאמי תבהיר מהו הנזק הפוטנציאלי ומהי רמת החשיפה של מדינת ישראל לסיכון מסוג זה. מידע זה גם ישמש בסיס לחיזוק המבנים.
- ט. **שילוב "חבילת אבטחת סייבר" לאבטחת המידע והמסרים** שיועברו למרכז "נחשול נצפה" וצוות "מגדלור" כדי למנוע חבלה בזרימת מידע מהימן ממרכזי האזהרה הבינלאומיים למרכז "נחשול נצפה" ולחסום אירועי התרעות בדויות וניצול עוין.
- י. **תיאום ושילוב** מערך ההתרעה מצונאמי "מים אדירים" עם מערכת ההתרעה המוקדמת מרעידות אדמה "תרועה" כדי לשפר את יעילותן, ולצמצם התרעות שווא.
- יא. **כעבודת המשך, יש לבחון, את הסכנה מצונאמי במפרץ אילת, בכנרת ובים המלח לרבות בריכות האידוי באגן הדרומי הסמוכות לאזור המלונות.**

**המלצה למדיניות, עקרונות התרעה ומסגרת
להיערכות לצונאמי בישראל**

**הועדה המדעית לגיבוש מדיניות ועקרונות להתרעה מוקדמת
מצונאמי בישראל**

1 מבוא ומטרות

הועדה הנוכחית מונתה במרץ 2013 על ידי דר' גידי בר, מנהל (בפועל) של מינהל המחקר למדעי האדמה והים, על בסיס החלטת הממשלה (נספח 1) מס' 4738 (רעד/20)⁶ מיום 21 במאי 2012 שפורסמה ברשומות וקיבלה תוקף ביום 7 ביוני 2012 (פרק 2- מערך "מים אדירים"), אשר מורה על תכנון, הכנה ותפעול מערכת להתרעה מצונאמי בחוף הים התיכון של ישראל, ומטילה את ביצועה על מנהל מינהל המחקר למדעי האדמה והים.

חברי הועדה: הועדה הורכבה מנציגים של גופי המחקר המדעיים של מינהל המחקר למדעי האדמה והים, האקדמיה הישראלית, ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות מדינת ישראל לרעידות אדמה, ונציגי הגופים האופרטיביים האחראים על מתן המענה בשעת חירום, באופן הבא:

1. פרופ' טוביה מילוא, יו"ר הועדה, הפקולטה להנדסה, אוניברסיטת תל אביב.
2. דר' עמוס סלמון, מזכיר הועדה, המכון הגיאולוגי וחבר משלחת ישראל ב- ICG/NEAMTWS.
3. אינג' סרגיי דב רוזן, המכון לחקר ימים ואגמים, איש הקשר הלאומי וראש משלחת ישראל ב- ICG/NEAMTWS וחבר ועדת ההיגוי של ICG/NEAMTWS.
4. דר' יפית גיטרמן, האגף לסיסמולוגיה במכון הגיאופיסי ונציג המוקד הלאומי להתרעה מצונאמי ל- ICG/NEAMTWS.
5. מר אמיר יהב, ראש חטיבת תורה, הדרכה ותרגילים, משרד הביטחון – רשות חירום לאומית (משהב"ט – רח"ל).
6. תא"ל (מיל') שלום בן אריה, ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות מדינת ישראל לרעידות אדמה.
7. מר יוסי דבוטון, חטיבת תורה, הדרכה ותרגילים, משהב"ט – רח"ל.
8. סא"ל דלית דובר, ראש ענף הנדסה ומיגון, פקע"ר, צה"ל.
9. רס"ן מיכאל ואטנמכר, רמ"ד הנדסת המיגון והנדסת החילוץ, פקע"ר, צה"ל.

⁶ <http://www.pmo.gov.il/secretary/govdecisions/2012/pages/des4738.aspx>

לצד הועדה עמדו היועצים הבאים:

1. דר' עמיר גבעתי, השרות ההידרולוגי, רשות המים, ראש המחלקה למים עיליים, בנושא הצפה בנחלים.

2. מר ניר סתיו, סגן מנהלת השרות המטאורולוגי, מנהל החטיבה למטאורולוגיה מבצעית, בנושא הפעלת חדר בקרה 24/7 ותקשורת GTS.

הועדה קיימה 13 פגישות, אחת לחודש ברציפות, באוניברסיטת תל אביב, במשרדי ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות לרעידות אדמה ובשרות המטאורולוגי בבית דגן. כמו כן השתתפה הועדה בישיבות צוות ההיגוי הבין משרדי לכתיבת התורה הלאומית להיערכות מדינת ישראל והתמודדותה עם אירוע צונאמי, שהתקיימו במשהבי"ט⁷ – רח"ל ובסיוור מקצועי שקיימה רח"ל כחלק מעבודת צוות ההיגוי. ממצאי הועדה, מסקנותיה והמלצותיה מוצגים בדוח זה.

1.1 תכנית העבודה של הועדה

החלטת הממשלה שמה דגש על מערכת התרעה ישראלית המבוססת על קבלת הודעות מהמערך הבינלאומי הנבנה בים התיכון וכן במקרה של רעידת אדמה מקומית בישראל, והפצת התרעה לציבור במידת הצורך. אולם כבר בדיון ההתנעה של הועדה העלה דר' אבי שפירא, יו"ר ועדת ההיגוי להיערכות מדינת ישראל לרעידות אדמה, את הצורך להגדיר תחילה את הסכנה (hazard) והסיכון (risk) מצונאמי בישראל כדי להבין את המשמעויות הכרוכות במתן התרעה מצונאמי בישראל, ובהתאם לכך לגבש מדיניות ועקרונות התרעה מאירועי צונאמי בישראל, ורק לאחר מכן לטפל במבנה האופרטיבי של מערכת ההתרעה הישראלית. לפיכך התמקדה הועדה בנושאים הבאים:

⁷ צוות ההיגוי החל עבודתו במסגרת פעילותו של המשרד להגנת העורף. כעת, בהתאם להחלטת הממשלה מספר 1661 מיום 01.06.2014, הפעילות הועברה למסגרת רשות החרום הלאומית (רח"ל) במשרד הביטחון.

א. **הערכת הסכנה (hazard) מצונאמי בישראל:** סיכום הידע ההיסטורי, המדעי והמקצועי בנושא צונאמי בישראל כבסיס להבנת התופעה, אפיון התופעה ומשמעויותיה לישראל.

ב. **גיבוש מדיניות ועקרונות התרעה מצונאמי בישראל:** אלה נוסחו על בסיס הסכנה כפי שאופיינה לעיל, ועיקרם בצורך להקים מערך לאומי להתרעה מצונאמי בישראל בעל יכולת פעולה עצמית ועצמאית.

ג. **מסגרת כמותית להיערכות מדינת ישראל לצונאמי** אשר תגדיר בפני הרשויות המקומיות, התשתיות הלאומיות והגופים האופרטיביים מהם אירועי הצונאמי שאליהם הם צריכים להיערך, בדומה לרעיון המסגרת להיערכות לרעידות אדמה.

ד. **מבנה מוצע למערכת ההתרעה על בסיס מסרים מספקי אזהרה בינלאומיים:** הצגת המבנה האירגוני, שיטת העבודה ועץ קבלת החלטות של מערכת ההתרעה הישראלית, תוך התמקדות בשלב הראשון, על פי החלטת הממשלה, בהתרעה על בסיס מסרים שיתקבלו ממרכזי האזהרה באירופה של המערכת הבינלאומית.

ה. **הקמת מרכז לאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי בישראל (מרכז "נחשול נצפה"):** הגדרת התפקידים, הדרישות, היכולות, המאפיינים והתכונות הנדרשים מהגוף המדעי שימליץ לפי הצורך בזמן אמת על הוצאת התרעה מצונאמי שעלול לסכן אוכלוסייה, מבנים ותשתיות לאורך חופי הים התיכון של מדינת ישראל. המרכז יבנה יכולת התרעה מצונאמי מרעידות רחוקות וקרובות כאחת, תוך תיאום ושיתוף פעולה עם מרכזי האזהרה הלאומיים הפעילים באירופה.

ו. **הקמת צוות התרעה לאומי לאירוע צונאמי (צוות "מגדלור"):** זהו גוף לאומי אופרטיבי שיקבל ממרכז "נחשול נצפה" בזמן אמת את המידע וההמלצה להתרעה מצונאמי ובהתאם יקבל החלטה מושכלת מהי רמת ההתרעה הנדרשת בישראל. ההחלטה תתקבל באחריותו של הצוות ובהתאם למדיניות שיקבע תופץ ההתרעה

למרכזי ההפעלה האופרטיביים הפועלים 24/7 (כל היממה, שבעה ימים בשבוע, כל השנה) בישראל.

ז. **המלצות אופרטיביות:** סיכום ממצאי הועדה, התובנות והמסקנות שהושגו במהלך הדיונים, מרוכזים בדו"ח זה במסגרת של המלצות אופרטיביות אשר יאפשרו למקבלי ההחלטות למקד את תשומת ליבם ולקדם את מערך ההתרעה המוקדמת מצונאמי בישראל, כמו גם את ההיערכות והמוכנות של גופי המענה והציבור, לאפשרות של אירוע צונאמי בישראל. ההמלצות סווגו על פי מידת דחיפותן: מידיות לטווח הזמן קצר ומתמשכות לטווח זמן בינוני וארוך.

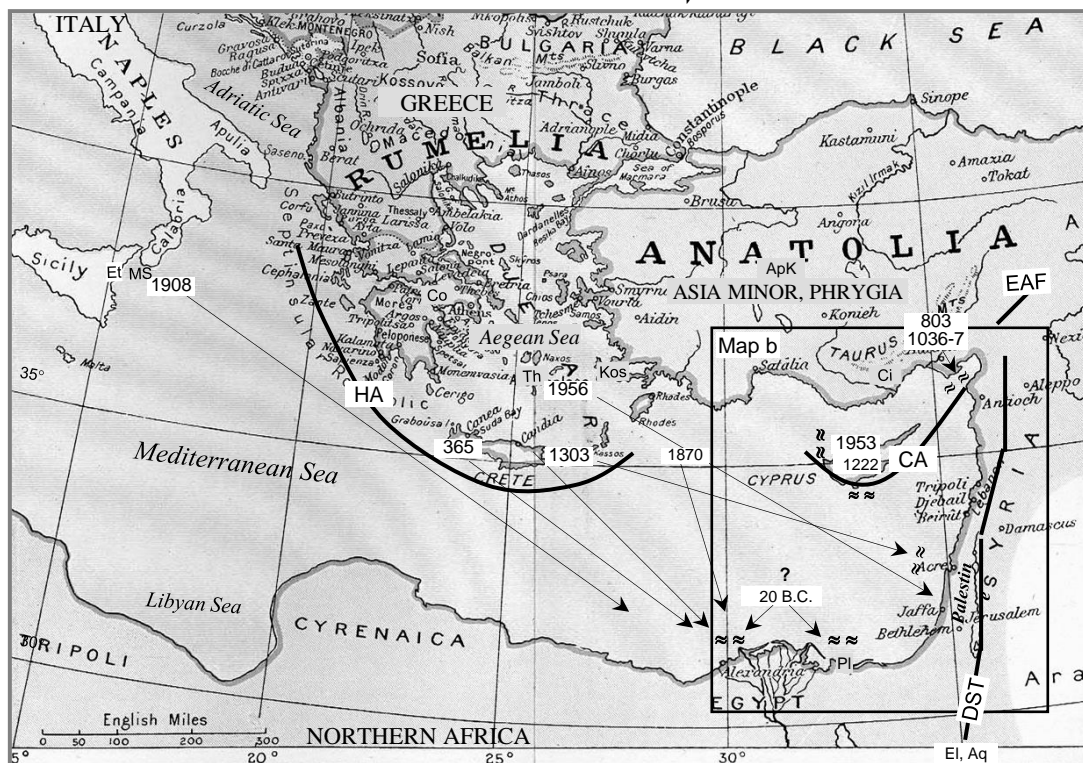
העבודה הנוכחית מהווה בסיס לתכנון פרטני, הקמה ותפעול של מערך ההתרעה מצונאמי בישראל - "מים אדירים", הכולל מרכז לאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי בישראל (יקרא "נחשול נצפה") וצוות ההתרעה לאומי מצונאמי (יקרא "מגדלור"), כפי שיקבע על ידי מקבלי ההחלטות במדינת ישראל וכנדרש על ידי ועדת התאום הבין ממשלתית שמנהלת את מערכת ההתרעה הבינלאומית בים התיכון ובחופי אירופה.

2 הערכת הסכנה מצונאמי בישראל

הערכת הסכנה מצונאמי לאורך חופי הים התיכון בישראל⁸ מתבססת על מקורות היסטוריים של כ- 22 אירועים שפגעו בחוף המזרחי של הים התיכון, ממצרים בדרום ועד מפרץ איסקנדרון (אלכסנדריה) בצפון ובקפריסין וחלקם אף באיי יוון ואיטליה, מהם כ- 10 בישראל. כמו כן קיים רישום יחיד של מפלס הים בנמל יפו מהצונאמי שלאחר רעידת האדמה בים האגאי בשנת 1956. המידע שהצטבר במחקרי שטח עדיין מוגבל בהיקפו. רשימת האירועים מוצגת בטבלה 2 ומיקומם מוצג באיורים 2א', 2ב'.

⁸ תיאור מפורט של הרקע המדעי עליו מושתתת הערכת הסכנה מצונאמי בישראל מוצג בנספח ב'.

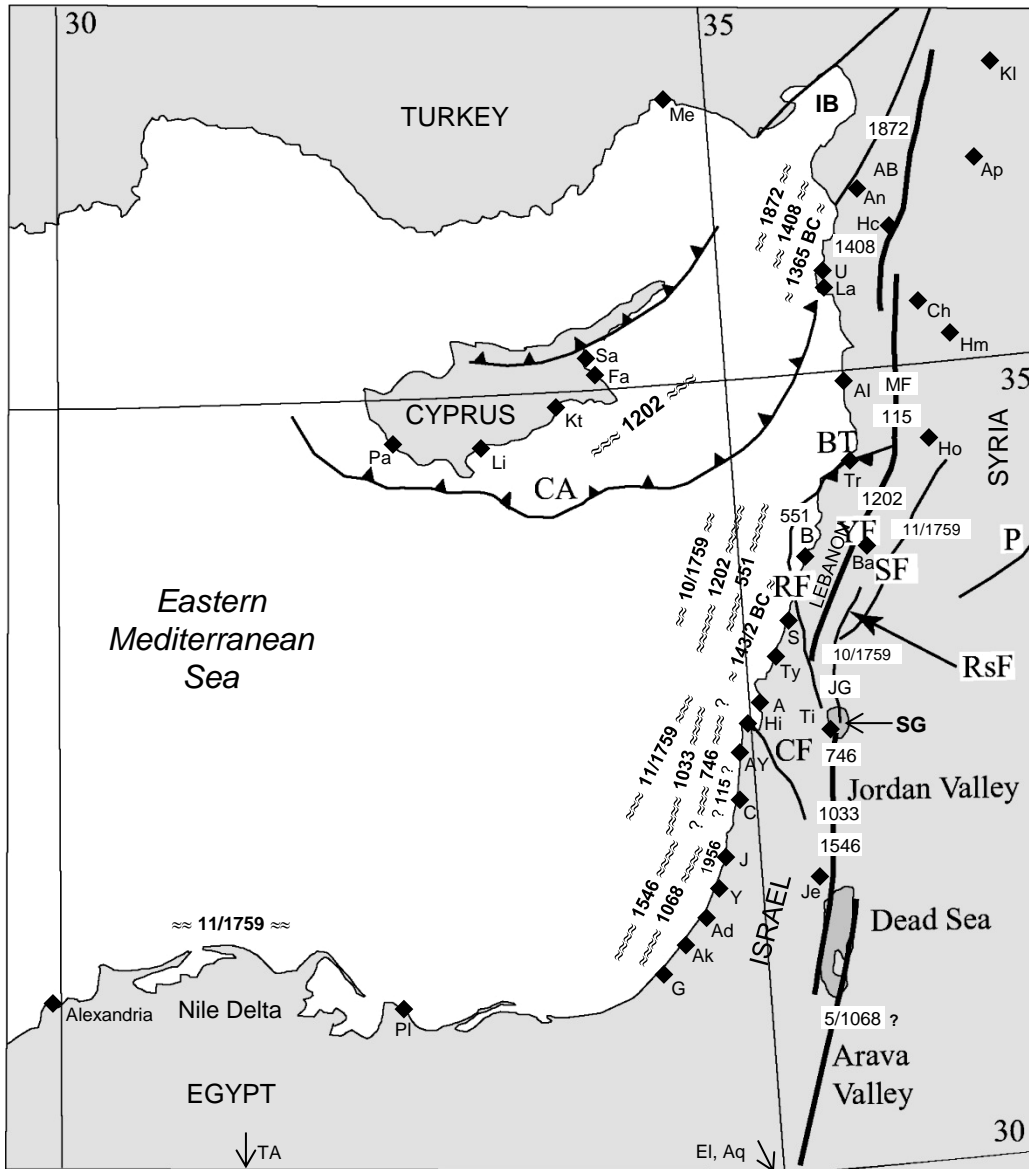
א. אירועי צונאמי שהגיעו מרחוק



איור 2: מפת אירועי צונאמי שנוצרו במרחב המזרחי של הים התיכון ופגעו בחוף המזרחי של הים התיכון (מתוך: Salomon et al., 2007). החיצים מקשרים בין המקום בו נוצר הצונאמי בציון השנה בה ארע, לחוף שנפגע על פי הדיווח ההיסטורי. המקור העיקרי לאירועי צונאמי אלה הוא הקשת ההלנית. המידע מוצג על המפה של Miller (1913).

מיקרא: **גבולות לוח טקטוני:** CA – הקשת הקפריסאית; DST – טרנספורם ים המלח; EFA – השבר המזרחי-אנטולי; HA – הקשת ההלנית. **העתקים:** BT – ביירות (הר לבנון); CF – כרמל; MF – מיסיאף; P – פלמרידים; RF – רום; RsF – ראשייה; SF – סרחאיה; YF – ימונה. **מקומות:** A – עכו (פטולומאי); AB – עמק אמיק; Ad – אשדוד; AI – האי ארווד; Ak – אשקלון; An – אנטיוך (אנטקיה); Ap – אלפו; ApK – אפמיאה קיבוטוס (באנטליה); Aq – עקבה; AY – עתלית ים; B – ביירות; Ba – בעלבק; IB – מפרץ איסקנדרון (אלכסנדריה); C – קיסריה; Ch – שיזור; Ci – קיליקיה; Co – קורנית; El – אילת; Et – אטנה; Fa – פמגוסטה; G – עזה; Hc – הציפשה; Hi – חיפה; Hm – חמה; Ho – חומס; J – יפו; JG – הירדן ההררי; Je – יריחו; Kl – קיליס; Kt – קיטיון; La – לטקיה; Li – לימסול; Me – מרסין; MS – מיצרי מסינה; Pa – פאפוס; Pl – פלוסיום; S – צידון; Sa – סלמיס; SG – כנרת; TA – תל עמרנה; Th – תרה (סנטורני); Ti – טבריה; Tr – טריפולי; Ty – צור; U – אוגריט; Y – יבנה.

ב. אירועי צונאמי מקומיים



איור 2ב: מפת אירועי צונאמי מקומיים שפגעו בחוף המזרחי של הים התיכון (מתוך: Salamon et al., 2007). סימון הגלים בים מציין את החופים בהם פגע הצונאמי ובמרכזם השנה בה התרחש האירוע. המיקום המשוער של מוקד רעידת האדמה שחוללה את האירוע (בעזרת גלישה תת ימית) מסומן ביבשה תוך ציון שנת האירוע.

ניתוח האירועים ההיסטוריים בשילוב עם מידע על רעידות אדמה, טקטוניקה ומפות עומק של תצורת קרקעית הים של מזרח הים התיכון, ותרחישי צונאמי ממוחשבים שנעשו בארץ ומחוצה לה, מאפשרים לקבוע את התובנות והמסקנות המפורטים בהמשך פרק זה. כמו כן קיים סיכון מצונאמי במפרץ אילת שם תועד גל בגובה 1 מטר לאחר הרעידה במפרץ אילת בשנת 1995, בהמשך נמדד גל זעיר (5 ס"מ) לאחר הצונאמי באוקיאנוס ההודי בדצמבר 2004, ונמצאו עדויות גיאולוגיות לגלישות ניכרות בקרקעית המפרץ. גלים חריגים לאחר רעידת אדמה תועדו בעבר ההיסטורי גם בכנרת ובים המלח. היקף הסכנה ופוטנציאל הנזק מצונאמי שם פחות ברורים ויהיה צורך להתייחס אליהם בעבודות המשך.

2.1 ספקטרום אירועי הצונאמי הצפויים בישראל ותנאי הסף להיווצרותם

ניתוח אירועי העבר (טבלה 2) תוך התחשבות בתנאים הטקטוניים והגיאולוגיים הייחודיים בישראל וסביבותיה, כמו גם מפות העומק של תצורת קרקעית הים של מזרח הים התיכון, מלמדים על שני גורמים עיקריים לצונאמי:

- א. גלישות קרקע תת-ימיות במדרון היבשת של ישראל ובדלתה של הנילוס לאחר רעידות אדמה, כולל רעידות שמוקדן ביבשה (!), במגניטודה 6 ומעלה המרוחקות עד כ- 100 קמ' מהחוף. מוכרים כ-8 אירועים מסוג זה שפגעו בחוף הישראלי בתקופת זמן חזרה ממוצעת של כ- 250 שנה, אם כי במחזוריות לא מסודרת.
- ב. רעידות אדמה במזרח הים התיכון, במגניטודה 7 ומעלה באזור כרתים-רודוס-קפריסין. מוכרים שני אירועים היסטוריים במגניטודה 8 ומעלה מסוג זה, בתקופת זמן חזרה ממוצעת של כ- 1,000 שנה.
- ג. ייתכנו גם אירועים שמקורם בהתפרצות הרי געש בים האגאי (למשל, סנטוריני, קולומבו) אך זאת בהסתברות נמוכה.

המשך הדיון באירוע החמור ביותר האפשרי באזורנו מוצג בפרק 2.4.

2.2 זמן ההתרעה

בהינתן מגוון המקורות האפשריים ליצירת צונאמי באזורנו ניתן להעריך בעזרת תרחישים ממוחשבים את משך הזמן שבין היווצרות הצונאמי ועד הגיעו לחופי הארץ, וזהו גם פרק הזמן המרבי האפשרי לצורך התרעה מוקדמת מהאירוע. התרחישים שבוצעו בעבודותיהם של Thio (2009) וגלנטי וחובי (2009, 2010) מלמדים על זמן התרעה של דקות ספורות במקרה של צונאמי עקב רעידת אדמה מקומית, וכחצי שעה עד שעתיים במקרה של צונאמי לאחר רעידה באזור קפריסין או כרתים, בהתאמה.

2.3 ההסתברות להתרחשות אירועי צונאמי בישראל

הניסיון ההיסטורי והתהליך הגיאולוגי מלמדים שרעידות אדמה, גלישות תת-ימיות וצונאמי הן תופעות החוזרות על עצמן אך אינן מסודרות בזמן וניתן לאמוד את מחזוריות הופעתן באופן סטטיסטי בלבד. מסיבה זו לא ניתן לחזות בצורה מהימנה היכן ומתי יתחולל הצונאמי הבא, ולא את גובהו ומרחק ההצפה הצפוי בחוף הישראלי. חלון הזמן ההיסטורי עם תיעוד סביר ואמין מוגבל ל 2,000 שנה לערך ומאפשר להעריך את תקופות זמני החזרה הממוצעות של אירועי צונאמי כפי שהתרחשו בפועל, גם מבלי להידרש להבנה

טבלה 2 אירועי צונאמי היסטוריים שפגעו בחופי מזרח הים התיכון

הרשימה מעובדת מתוך Salamon et al. (2010) אשר התבססו בעיקר על הקטלוגים של Guidoboni et al. (1994), Guidoboni and Comastri (2005), ו-Ambraseys (2009) ומקורות נוספים כמפורט שם. סימני השאלה מציינים מידע שאינו וודאי.

תאריך האירוע	חופים עליהם דווח שנפגעו	היקף	הגורם	תופעות ונזקים
1627-1600 לפנה"ס	כרתים, יוון, תורכיה	רחב	התפרצות הר הגעש סנטוריני בים האגאי	סביר להניח שהגיע לישראל, אך העדויות לכך אינן חד משמעיות
1365±5 לפנה"ס	אוגריט (ליד לטקיה, סוריה)	מקומי	לא ידוע	הים הציף את העיר וחציה נהרס
אמצע המאה השנייה לפנה"ס	בין צור ועכו	מקומי	לא ידוע	הים הציף את החוף וסחף אנשים
20 לפנה"ס	בין אלכסנדריה ופלוסיום (צפון סיני)	מקומי	לא ידוע	
13 לדצמבר 115 לספה"י	בין קיסריה ויבנה	מקומי	רעידת אדמה ביבשה בצפון-מערב סוריה	ספק צונאמי, יתכן פגיעה בנמל קיסריה, המקורות ההיסטוריים והעדויות הגיאולוגיות אינם חד משמעיים
21 יולי 365	אלכסנדריה, יוון, כרתים, הים האדריאטי, סיציליה	רחב	רעידת אדמה חזקה במגניטודה 8 בכרתים	נפגעים רבים ונזק רב באלכסנדריה ולאורך הדלתה של הנילוס
9 יולי 551	לבנון וצפון ישראל, יתכן גם בקיסריה	מקומי	רעידת אדמה בים מול חופי לבנון	נזק ואבדות בנפש בערי החוף בלבנון ובפרט בבירות, לווה בנסיגה חריפה של הים ובהצפה
18 ינואר 746 (יתכן 749)	(?) דרום לבנון וצפון ישראל	מקומי	רעידת אדמה בעמק הירדן	מרבית הערים והכפרים לאורך החוף נהרסו, אך לא ברור אם הדיווח קשור לים התיכון, לכנרת או לים המלח
23 ליוני 803	חוף מסיסה (Massisa), ליד מפרץ איסקנדרון	מקומי	רעידת אדמה בקרבת מקום	הצפה של הים
5 דצמבר 1033 (יתכן 4 ינואר 1034)	צפון ישראל	מקומי	רעידת אדמה, כנראה בעמק הירדן	נמל עכו יבש לפרק זמן
בין 12 מרץ 1036 לבין 11 מרץ 1037	מפרץ איסקנדרון	מקומי	רעידת אדמה בקרבת מקום	בקיליקיה (Cilicia) הים עלה וירד
29 מאי 1068	דרום ישראל	מקומי	רעידת אדמה ביבשה? בדרום ישראל	הים נסוג באופן משמעותי וחזר, אנשים רבים נסחפו
20 מאי 1202	דרום לבנון וצפון ישראל, קפריסין	אזורי	רעידת אדמה ביבשה בלבנון וצפון ישראל	גלים עצומים בין קפריסין לסוריה (לבנון של היום), נזק למגדלורים, ספינות הוטלו אל החוף, נזק בעכו
11 מאי 1222	לימסול, פאפוס (קפריסין)	מקומי	רעידת אדמה בדרום קפריסין	הים בין פאפוס ולימסול נסוג מהחוף, נמל פאפוס יבש לחלוטין
8 אוגוסט 1303	אלכסנדריה, עכו, כרתים	רחב	רעידת אדמה חזקה באזור כרתים	הים נסוג והציף בעכו, אנשים שירדו לאסוף 'מציאות' בים נסחפו וטבעו
29 דצמבר 1408	צפון סוריה, ליד הר קסיוס (Cassius)	מקומי	רעידת אדמה ביבשה? בצפון מערב סוריה	סירות נזרקו לחוף
14 ינואר 1546	בין יפו לעזה	מקומי	רעידת אדמה, יתכן בעמק הירדן	הים ביפו ובדרום הארץ נסוג ולאחר מכן חזר והציף, אנשים רבים אבדו
30 אוקטובר 1759	לבנון וצפון ישראל	מקומי	רעידת אדמה ביבשה בגבול סוריה לבנון	הצפה ברחובות בעכו לגובה 2-2.5 מ' וברציפים בטריפולי
25 נובמבר 1759	ישראל, אזור הדלתה של הנילוס	אזורי ?	רעידת אדמה ביבשה בגבול סוריה לבנון	בעכו מספר אבדות וסירות הוטלו אל החוף, עכירות בים ליד אלכסנדריה ביום שלאחר הרעידה
24 יוני 1870	אלכסנדריה, יוון, איטליה?	בינוני	רעידת אדמה בים האגאי	הים הציף את הנמל באלכסנדריה
3 אפריל 1872	צפון סוריה	אזורי	רעידת אדמה כנראה ביבשה, בצפ' מע' סוריה	הים עלה והציף את חוף אנטקיה (אנטיוכיה)
28 דצמבר 1908	סיציליה, דרום איטליה, חופי לוב ומערב מצרים עד אלכסנדריה	רחב	רעידת אדמה וגלישה תת-ימית במצרי מסינה, סיציליה, איטליה	עשרות אלפי הרוגים ופצועים והרס מאסיבי במסינה
10 ספטמבר 1953	קפריסין ודרום תורכיה	מקומי-אזורי	רעידת אדמה בים, דר' מע' לקפריסין	סדרה של גלי גאות בקפריסין, לא נגרם נזק
9 יולי 1956	הים האגאי	אזורי	רעידת אדמה וגלישה תת-ימית בים האגאי	נזקים באיי יוון שבים האגאי, צונאמי חלש נרשם בנמל יפו

מעמיקה של המנגנון המכאני שיצר את הצונאמי. המידע הגיאולוגי מאידך, מאפשר להרחיב את חלון הזמן לניתוח הסכנה, הפעם על בסיס עדויות עקיפות (למשל, שרידי גלישה תת ימית גדולה על קרקעית הים) ומתוך הבנה עקרונית של מנגנון היצירה של הצונאמי, אך ללא עדות ישירה לצונאמי מסוים. יחד עם זאת, ניתן להגדיר את ההסתברות להתרחשות האירועים הללו באופן הבא:

- א. צונאמי מגלישות תת-ימיות עלול לפגוע בישראל אחת ל- 250 שנה לערך. יש לציין כי שני האירועים האחרונים מסוג זה התרחשו בשנת 1759 בתוך כחודש אחד!
- ב. האירועים החמורים בקשת ההלנית מתרחשים אחת ל- 800 עד 1,000 שנה, האחרון בהם ארע בשנת 1303.
- ג. הניסיון ההיסטורי מלמד שצונאמי משמעותי מופיע אחת לשבע רעידות במגניטודה 6, ואחת לשלוש רעידות במגניטודה 7 ומעלה, לערך. המשמעות היא כי אירועי הצונאמי שכיחים פחות מרעידות אדמה, אם כי ההסתברות לאירוע צונאמי עולה עם המגניטודה של הרעידה.

2.4 האירוע החמור ביותר בישראל וסביבתה הקרובה

בדרך כלל, כאשר קיים גורם סכנה (hazard) חמור מאוד אך נדיר בזמן והמשאבים הנדרשים להתכונן לקראתו מוגבלים, מגדירים באופן סטטיסטי את סף הסיכון (risk) שמוכנים להתכונן עבורו. זוהי למעשה החלטה חברתית-כלכלית-מוסרית במהותה שמדינה אמורה לקחת על עצמה. במצבים כאלה מעוניינים לדעת מהו ספקטרום הסכנות הכולל, מהאירוע הקטן ביותר ועד לאירוע החמור ביותר האפשרי (worst case scenario). חשוב לציין כי הניסיון בסומטרה בדצמבר 2004 ויפן במרץ 2011, הראה שהסיכון החמור ביותר אכן עלול להתרחש.

בישראל מתייחסים בהתאם לגישה זו לרעידות אדמה, כאשר התקן הישראלי לבניה רגילה ת"י 413 מנחה לבניה עמידה לרעידת אדמה שלגביה קיימת הסתברות של 10% בלבד שרעידה חזקה ממנה תתרחש לפחות פעם אחת בתוך תקופה של 50 שנה (תקופת חזרה

ממוצעת של כ- 500 שנה). במילים אחרות, בונים ברמת ביטחון של 90% ל- 50 שנה ונשארים חשופים לסיכון של 10% באותו פרק הזמן. במקרה של מתקנים המחזיקים חומרים מסוכנים, המדינה החליטה להחמיר בדרישות ולאפשר חשיפה ברמה של 2% בלבד ל- 50 שנה. לצורך מסגרת להיערכות לקראת רעידת אדמה, החליטה ממשלת ישראל לקבל על עצמה סיכון של 5% ל 50 שנה (במקרה זה מדובר בהסתברות לנזק ולא בהסתברות לאירוע), אירוע המקביל באופן גס להתרחשותה של רעידה במגניטודה 7 בישראל, אחת ל 1,000 שנה.

המידע ההיסטורי והגיאולוגי הקיים לגבי צונאמי מאפשר להעריך באופן ראשוני מה הם אירועי הקיצון האפשריים (נספח ב') ובאופן גס גם את תקופות החזרה הממוצעות שלהם. מידע זה מאפשר הערכה גם בדבר אירועי צונאמי בעלי תקופת חזרה ממוצעת של כ- 1,000 שנה, בדומה לנדרש למסגרת להיערכות לרעידות אדמה. על כן מוצע לקבוע באופן דומה גם את תקופת זמן החזרה הממוצעת של האירוע עליו תתבסס המסגרת להיערכות לצונאמי, להריץ תרחישים ממוחשבים של אירוע מסוג זה אשר יתייחסו לשונות ואי הוודאות הכרוכים בהופעתו ולהציג את הממצאים בעזרת מפות גובה גל בקו החוף והצפה לתוך היבשה, ובמידת האפשר גם להעריך את הנזק הצפוי מאירועים אלה.

בשלבם מאוחרים יותר, מומלץ לבחון תרחישי צונאמי קיצון, כמו גם את השפעתם האפשרית המשולבת של אירועי צונאמי עם סערות, רוחות, ושיטפונות. כך ניתן יהיה לאמוד את המעטפת הקיצונית יותר של אירועי צונאמי במשולב עם מצב מטאו-ימי קיצון.

חשוב לזכור שחלון הזמן לגביו קיים בידנו מידע כמותי בדבר עוצמתם של אירועי רעידות האדמה והצונאמי הגדולים ביותר מצומצם למדי (כמאה שנה של רישום מכשירני וכאלפיים שנה של מידע היסטורי) בשעה שבמקרים רבים המחזוריות הטבעית של האירועים הללו מגיעה לאלפי שנים ויותר. על כן ההחלטה בדבר גודלו של האירוע החמור ביותר נסמכת במקרים רבים על שיפוט, הערכה ואומדן מקצועיים.

א. הצונאמי החמור ביותר המוכר בארץ מגלישות קרקע באלפיים השנים האחרונות, ארע לאחר הרעידה בשנת 1202 והוא פגע בחופי לבנון, צפון ישראל וקפריסין.

משיקולים גיאולוגיים אפשר להניח אירוע צונאמי חמור הרבה יותר כתוצאה מגלישת ענק בים, אך ממדי אירוע מסוג זה טרם נלמדו.

ב. לגבי צונאמי כתוצאה מרעידות אדמה במזרח הים התיכון: הרעידה החזקה ביותר שגרמה לצונאמי ונרשמה בעידן המודרני ארעה במרכז הים האגאי באי אמורגוס ביולי, 1956, והגיעה למגניטודה 7.5 (Ambraseys, 1960). האירוע ההיסטורי החזק ביותר ארע ככל הנראה בדרום מערב כרתים, בשנת 365 לסה"נ ועל סמך מידע גיאולוגי הוערך במגניטודה 8.3 – 8.5 (Shaw et al., 2008). האירוע ההיסטורי משנת 1303 ארע ככל הנראה בדרום מערב הקשת ההלנית, בין כרתים לרודוס, והמגניטודה שלו הוערכה כ- 8.0 (Papazachos, 1996). משיקולים סיסמו-טקטוניים הנשענים על הניסיון בסומטרה 2004 וביפן 2011, חשוב לבחון גם את האפשרות לצונאמי לאחר רעידה במגניטודה 9 בקשת ההלנית (G. Papadopolous, National Observatory of Athens, שיחה בע"פ, 2013), למרות שטרם נמצאו עדויות לאירוע בעוצמה שכזו. על רקע אי הוודאות המתוארת לעיל, מוצע בשלב זה להתייחס לרעידת האדמה שעליה מתבססת המסגרת להיערכות ישראל לצונאמי כאירוע במגניטודה 8.0 - 8.5, ובמקביל להמשיך את המחקר בנושא זה.

ג. ההסתברות לצונאמי שיפגע בישראל כתוצאה מהתפרצות וולקנית או פגיעת אסטרואיד נראית נמוכה מאוד בהשוואה לצונאמי מרעידות אדמה וגלישות תת ימיות ועל כן הינה בעדיפות נמוכה יותר לחקירה. בספרות המחקרית והפופולרית נזכר אירוע צונאמי הרסני בעקבות התפרצות הר הגעש סנטורני בים האגאי לפני כ- 3,600 שנה (סקירה מקיפה אצל McCoy, 2009), אולם העדויות שלפיהן אירוע זה פגע קשה בחוף הישראלי אינן חד משמעיות (McCoy and Heiken, 2000). מחקרים בנושא מלמדים שזהו אכן אירוע נדיר, בזמן חזרה של כעשרת אלפים שנה ויותר (Druitt et al., 1989). כיום מתקיים ניטור שוטף של הפעילות הסיסמית והגעשית בהר הגעש הזה והסימנים מלמדים שהוא מצוי בתהליך בנייה איטי מאוד.

יחד עם זאת, לא נשקפת סכנת צונאמי מידית ממקור וולקני זה ועל כן אירוע מסוג זה לא נלקח כאן בחשבון.

מסגרת האירועים הנדרשת לניסוח תכן בניה, לרבות זמן החזרה של אירוע הייחוס לתכנון (למשל, 1: 500, 1: 1,000 או 1: 2,500 שנה) תקבע בהמשך במסגרת הכנת תקן ייעודי לבניה עמידה לצונאמי בישראל.

2.5 רוס ומרחקי הצפה מרביים הצפויים בישראל

המידע הכמותי על צונאמי בישראל מוגבל לדיווח על הצפה בגובה של כ- 2.5 מטרים ברחובות עכו בשנת 1759, אך לא ידוע באיזה רחובות מדובר ומה היה גובהם ביחס לפני הים. כמו כן קיים דיווח משנת 1303 המתאר הצפה בעכו עד לתל אל פודול ומגדל דיין, אך לא ברור היכן הם מצויים כיום. לאחרונה פורסם מחקר שמציע לפרש משקעים שנמצאו בחפירות ארכיאולוגיות בחלק היבשתי של קיסריה העתיקה כמשקעי צונאמי (Goodman-Tchernov et al., 2013), ככל הנראה בגובה של כ- 9 מ' מעל פני הים (Goodman-Tchernov, שיחה בע"פ, 2014). ככלל, ידוע שאזורים שטוחים, מוצאי נחלים ושטחים בקרבת גדות נחלים רגישים להצפה ואילו אזורים תלולים וצוקים מוגנים יותר, אולם חשוב להשלים את המידע החסר בעזרת הדמיית מודלים ממוחשבים.

הערכות ראשוניות ניתנו על ידי Thio (2009) אשר בצע מספר תרחישים מייצגים לצונאמי במזרח הים התיכון, כולל תרחישי קיצון. מפות הסיכון הראשוניות שערך סלמון (2009) ואשר מתבססות על עבודתו של Thio, משרטטות את גבול האזור המועד להצפה מאירועי קיצון אלה לאורך חופי מפרץ חיפה, גוש דן (איור 3) ואשדוד-אשקלון, ופורסמו על ידי המכון הגיאולוגי (מג"ל). יחד עם זאת, חשוב לציין שתרחישים אלה מבוססים על בתימטריה (טופוגרפיה של קרקעית הים) וטופוגרפיה ברזולוציה נמוכה יחסית (כ- 35 מ' אורך צלע הסריג באזור החוף הרדוד ו- 25 מ' ביבשה). במסגרת הכנת בנק תרחישים למערכת תומכת החלטות להתרעה מצונאמי (גלנטי וחוב', 2009, 2010), בוצעו מספר תרחישי צונאמי מייצגים מרעידות אדמה וגלישות תת-ימיות ברזולוציה גבוהה יותר

מפת האזורים המועדים להצפה מצונאמי באזור תל-אביב

גבול הצפה משוער כתוצאה מתרחיש צונאמי קיצוני

דברי המבד למטה

המפה מציגה באופן איכותי ובלתי הרתעה ראשונית של המועדים המועדים להצפה על ידי צונאמי בים התיכון לאורך חוף מפרץ חיפה, במרכז הארץ באזור חי' ובדרום הארץ באזור אשדוד וישראל. המפת הוכנה במסגרת הפעילות של ועדת ההיגוי הבין משרדית לתוכנית להערכת אסונות, והיא מתבססת על דוח שהוכן עבור המכון הלאומי על ידי חברת URS (2008, טאל). דו"ח מפורט של הרקע ושיטות העבודה שעל פיהם הן נערכו.

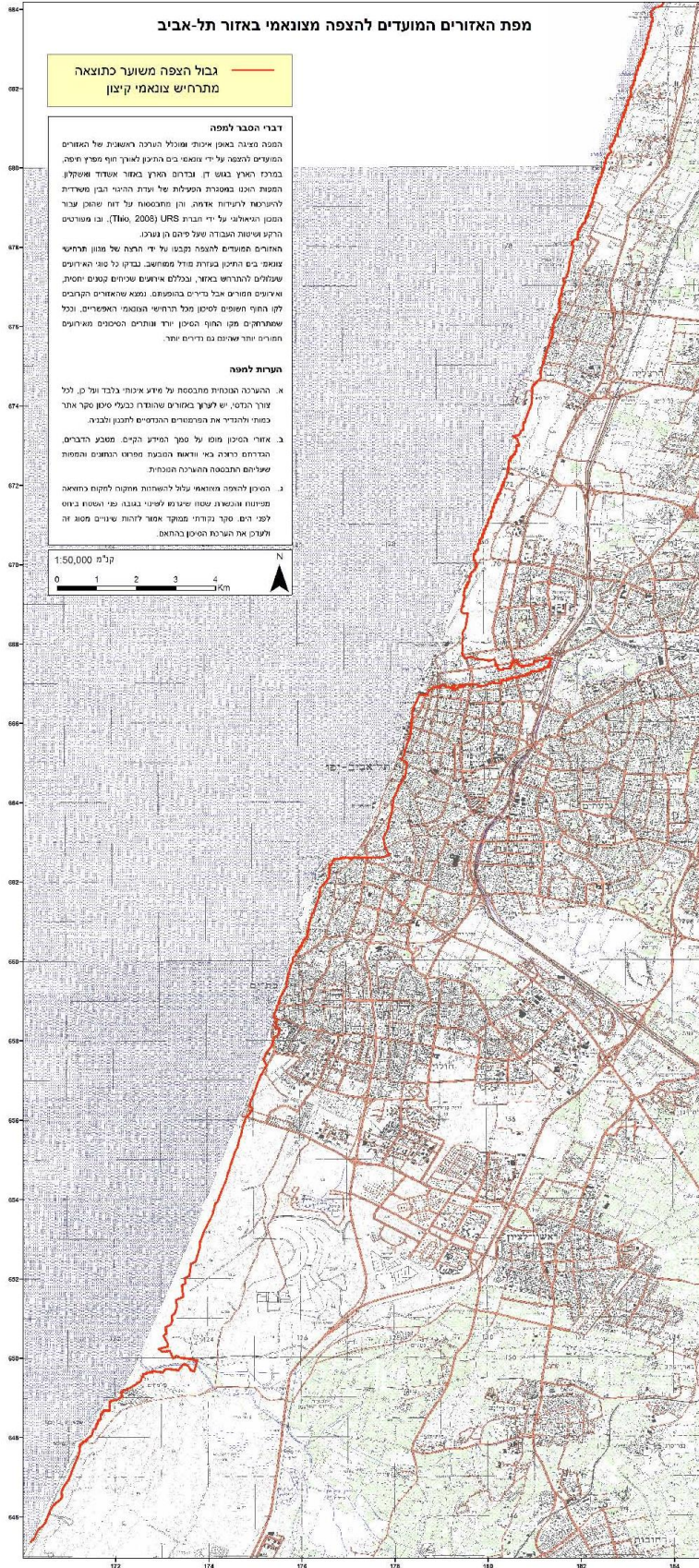
האזורים המועדים להצפה נתבססו על ידי התחלה של מודל תרחיש צונאמי בים התיכון בעזרת מודל ממוחשב, נבדקו כל סוגי האיומים שעלולים להתרחש באזור, וכללם אירועים שונים כגון: תחילת אירועים חמורים אבל כדורים בהפגזות, נפלא שאזורים הקרובים לים התיכון מושפעים לסיכון מכל תרחיש הצונאמי האפשריים, וכלל שמרחקים מן החוף הסיכון יורד ונותרים הסיכונים האחרונים חמורים יותר ויש להיזהר גם בדרום יותר.

הערות למטה

- א. ההערכה הוכחה מתבססת על מידע איכותי בלבד ועל כן, לכל עורך הדפוס, יש לערוך באזורים שהוכחה כבעלי סיכון ספק אתר באזור ולהנחיה את המפתחים ההנדסיים להכנת ולבדוק.
- ב. אחרי הסיכון מוסר על ספק המידע הקיים. מטבע הדברים, הבהרות כרוכה באי ודאות הנובעת מפרטים המעטים והמפת ששלחם התבססה הוועדה המסודרת.
- ג. הסיכון להאפק איומאמי עלול להשתנות מחוקה לחוקה כתוצאה משינויים והתארגן שטוח שיערש לפניה באגודה פני השטח ביחס לפני הים. ספק נדרושי ממקור אסור להיות שונים משוג זה ועל כן אי הוועדה הסיכון בהתאם.



איור 3 : מפת האזורים המועדים להצפה מצונאמי לאורך חופי גוש דן (מתוך : סלמון, 2009)



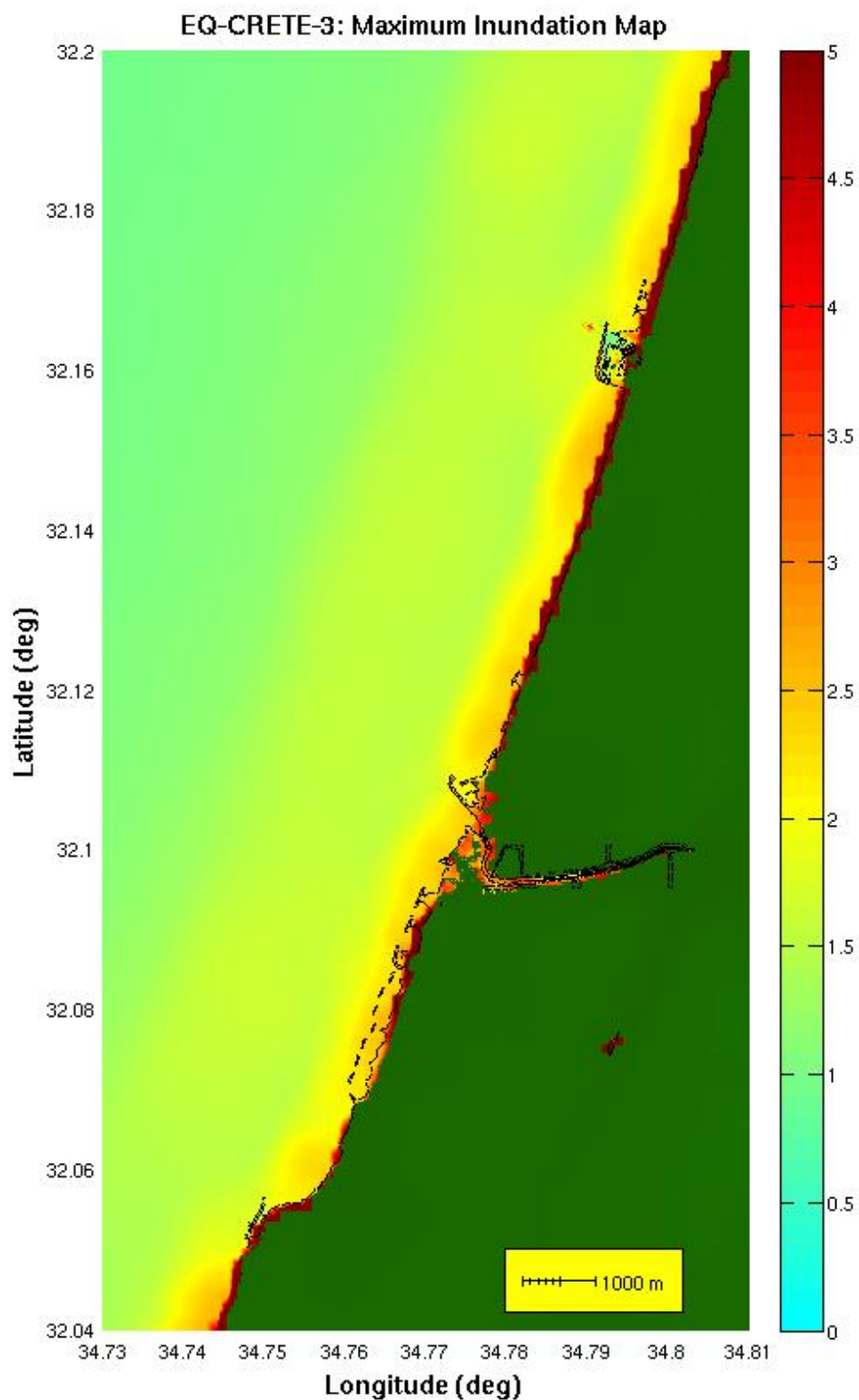
וניתנו מפות הצפה ורום מרביים לאורך חופי גוש דן (איור 4) ומפרץ חיפה (איור 5). בעת הזאת נעשית במכון לחקר ימים ואגמים בישראל (להלן חיאי"ל) הרצת תרחישים מקיפה ברזולוציה גבוהה של הבתימטריה והטופוגרפיה לאורך רובו של חוף הים התיכון בישראל שתאפשר קבלת מפות הצפה אשר יחליפו ככל הנראה את אלו המתבססות על עבודתו Thio (2009). יחד עם זאת, חשוב לציין שכל ההדמיות לצונאמי המוכרות כיום וכנראה גם בעתיד הקרוב מדמות למעשה רק את התפשטות ופגיעת הגל הראשון. מכיוון שעל פי הניסיון בעולם נוצרים באירוע כזה מספר גלים ולא תמיד הגל הראשון הוא דווקא הגדול או ההרסני ביותר, המפות המתקבלות בהדמיות הללו הינן קרוב בלבד למידת ההצפה המרבית ויהיה צורך להמשיך לחקור בעתיד כיצד לדמות את מנגנון ההיווצרות וההצפה של הגלים הנוספים.

2.6 גורמים סביבתיים אשר עשויים להשפיע על גובה הצונאמי בישראל

מועדי הים ומצב הים (נד גלים ורוח), שיטפונות בנחלים המתנקזים לים ועליית מפלס הים בהשפעת שינוי האקלים, עשויים להשפיע על רומי ההצפה ושטחי ההצפה הצפויים כתוצאה מצונאמי. הערכה ראשונית לגבי השפעתם האפשרית של הגורמים הללו לאורך חופי הים התיכון בישראל מתוארת להלן:

א. מצב מועדי הים: הטווח השכיח של מועדי הים הינו כ- ± 0.20 מ', אך הערכים המרביים עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה יכולים להגיע גם ל- $+1.10$ מ' גאות ו- -0.70 מ' שפל (Rosen, 1998).

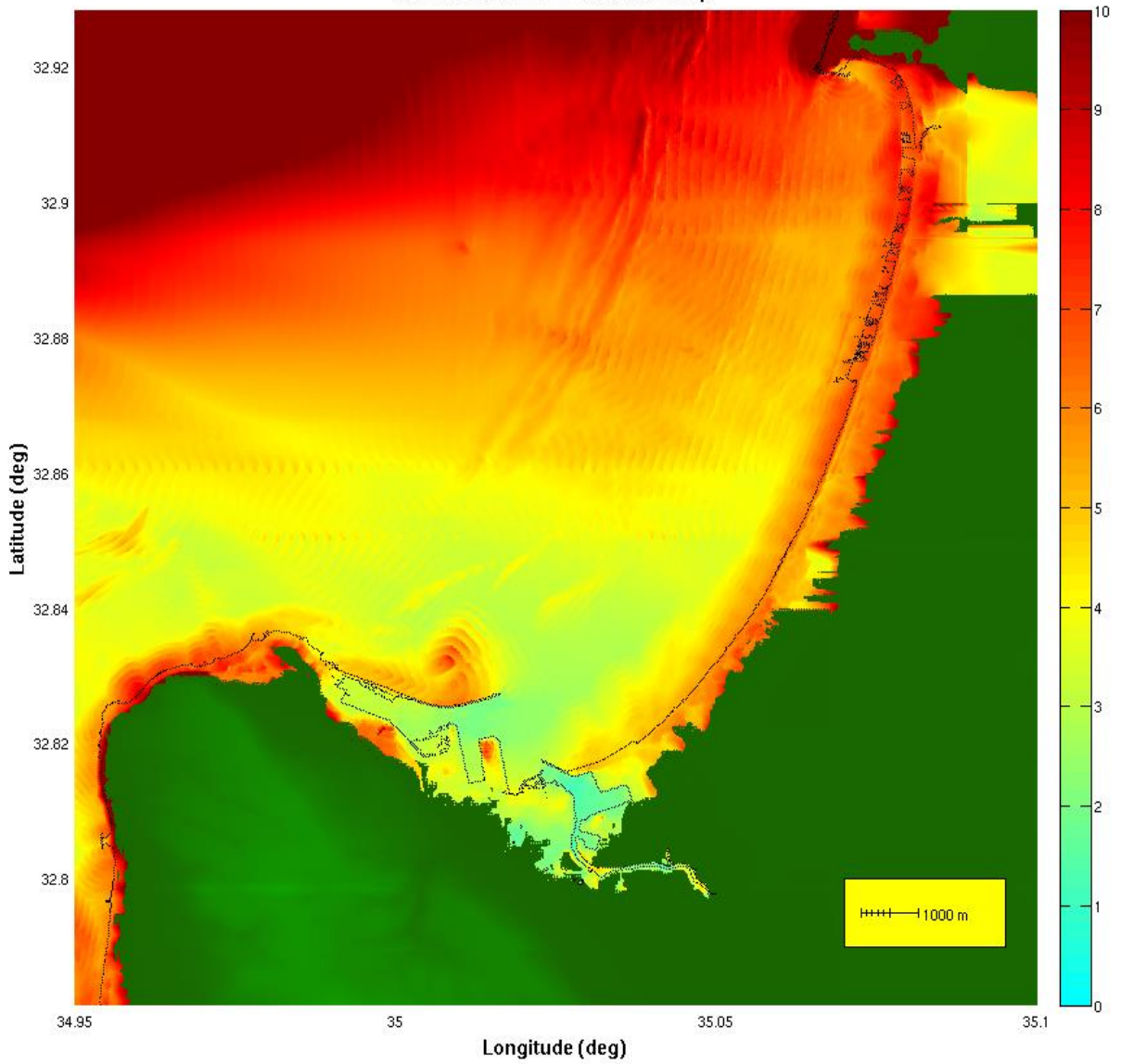
ב. מצב הים: הערמות פני הים בקו החוף מושפעת מגובה גלי הרוח וככל שהם גבוהים יותר, גם ההערמות גבוהה יותר. גם נשיבת רוחות מערביות בעת סערות חזקות (נד רוח) תגרום להערמות ברום פני הים בחוף, ולעומת זאת בעת משב רוחות מזרחיות בעונות המעבר, נוצרת שפילה קטנה ברום פני הים באזור החוף. המידע הקיים מאפשר להעריך כי בעת סערות גלים מערביות חזקות השכיחות כל חורף ובשילוב משב רוחות מערביות עשויה להתקבל הערמות ברום פני המים בחוף של כ- 0.50 מ',



איור 4: האזורים המועדים להצפה בחופי גוש דן בתרחיש צונאמי מרעידת אדמה ליד כרתים

(תרחיש EQ-CRETE-3; מתוך: גלנטי וחובי, 2010)

LS-HAI3: Maximum Inundation Map



איור 5: האזורים המועדים להצפה במפרץ חיפה בתרחיש צונאמי מגלישה תת ימית מול חיפה

(תרחיש LS-HAI3; מתוך: גלנטי וחוב', 2010)

ואילו באירועי קיצון של סערות גלים ורוחות עם תקופת חזרה ממוצעת של כ- 20 שנה יכולה ההערמות ברום פני המים בחוף להגיע עד כ- 2.0 מ'.

ג. שינויי אקלים: הערכות עדכניות (Rosen and Raskin, 2014) מלמדות כי מפלס הים התיכון לאורך חופי ישראל עלה בעשרים השנים האחרונות (מאז 1992) ביותר מ- 0.13 מ'. הצפי לשנת 2040 הינו עליית מפלס נוספת של כ- 0.4 מ' ולשנת 2100 מוערך כי יעלה ב- 0.6 מ' נוספים, כלומר עליה של המפלס הנוכחי במטר ואולי מעט יותר עד סוף המאה הנוכחית. ככלל, זוהי עלייה איטית מאוד, סדר גודל של כ- 1 סנטימטר לשנה במוצע, והשלכותיה במקרה של צונאמי אינן משמעותיות לטווח השנים הקרובות.

ד. שיטפון יבשתי: החשש מצונאמי בזמן שיטפון יבשתי נובע מהערמות מים חריגה במוצא הנחלים לים והרחבת התחום היבשתי המועד להצפה. אולם, ההסתברות שאירוע צונאמי יתרחש בחפיפה עם אירוע שיטפוני הינה נמוכה משמעותית (מכפלת ההסתברויות של שני סוגי האירועים).

מאחר וחלק מהשינויים במפלס הים הינם מחזוריים (מועדי הים), חלק בלתי צפויים (מצב הים, שיטפונות), וחלק אחר משתנה לאורך הזמן (עליית מפלס כתוצאה משינויי אקלים), לא ניתן לחזות מראש מה תהיה השפעתם הכוללת באירוע של צונאמי – אשר גם את מועדו וממדיו לא ניתן לצפות מראש. מוצע על כן לייחס את גובה הצונאמי לרום "פני מים גבוהים" הסטטוטורי כפי שנקבע בחוק החופים, שנקבע ברום 0.75 מ' מעל רום אפס האיזון הארצי, ובעתיד לעדכן רום זה על פי עליית מפלס הים.

ההערכה המוצגת לעיל הינה ראשונית בלבד וחשוב יהיה להשלימה בעזרת תרחישים ממוחשבים בהם תיבחן השפעת הגורמים הללו על גובה הצונאמי בקרבת החוף ועל מידת ההצפה בחוף ותתברר משמעותם. במידת הצורך יידרש לעדכן את הערכת הסכנה מצונאמי בהתאם.

2.7 נזק מצונאמי בישראל

הסכנה מצונאמי (hazard) תלויה בעיקר בעוצמה ובמאפיינים של המקור שיצר את גלי הצונאמי, במרחק של החוף מהמקור ובתבליט של קרקעית הים בין החוף למקור הצונאמי, בעיקר בקטע הים הקרוב לחוף הכולל את מדרון ומפתן היבשת. כמו כן קיימת השפעה של מצב הים ומועדיו, כאשר האיום גובר בעת סערה וגאות ומאידך הוא קטן יותר כאשר הים שקט ובמצב שפל. הנזק הפוטנציאלי (risk) למתקני תשתית, ליישובי החוף ולאוכלוסייה הקרובה לים תלוי במידת חשיפתם (exposure) ופגיעותם (vulnerability) של אלה ובעיתוי האירוע. כך למשל, תוצאותיו של צונאמי במהלך חופשת הקיץ, כאשר החוף עמוס בנופשים, יהיו חמורות לאין שעור מצונאמי בזמן סופה חורפית, כאשר האנשים בבתיהם.

פגיעת הצונאמי מתבטאת לא רק בהצפת שטחים לאורך החוף וביבשה, אלא גם בפגיעה פיזית עקב מהירות הזרימה הגבוהה של המים, היוצרת כוחות הידרודינמיים בנוסף לכוחות ההידרוסטטיים על המבנים. כך למשל, בקרבת החוף עלולה מהירות הזרם להגיע לכ- 10 מ' לשנייה ובחוף צפויה מהירות זרם של בין 5 ל- 10 מ' לשנייה. מהירות זרם של 10 מ' לשנייה היא ככל הידוע לנו כפולה ויותר ממהירות הזרם שעבורה חושב ותוכנן מצב שרידות ראשי היניקה של מתקן ההתפלה באשקלון (Rosen and Kaplan, 2007) וסביר להניח גם של יתר ראשי היניקה של מתקני ההתפלה שנבנו בישראל עד היום מכיוון שהכוחות הפועלים על המבנים יחסיים לריבוע מהירות הזרם בקרוב, סביר להניח שהם לא ישרדו פגיעת צונאמי. פגיעה נוספת בחוף ובקרבתו צפויה גם כתוצאה מגריפה, סחיפה והשקעה מאסיבית של סלעים, חול, צופת וגרופת (debris) מלאכותיים אשר יוסיפו עומסים דינמיים ויכולים לגרום גם לסתימת פתחי ניקוז ומתקני שאיבה, כמו גם לפגיעה פיזית נוספת במבנים ובאוכלוסייה. כך למשל, אפשרית פגיעה במבנים וגשרי בטון עקב שינוי העומסים בקורות הנושאות כתוצאה מהצפתם והיווצרות כוחות עליו משמעותיים. גורמי נזק נוספים הינם: סחיפת חול מהחוף למים העמוקים ולהפך וכתוצאה מכך שינוי במורפולוגיה של החוף; הטלת כלי ים על רציפים בנמל, הסטת מסילות רכבת בקטעים

הקרובים לשפת הים, המלחת מי התהום באקוויפר החוף; וכדומה. בשלבים הראשוניים של האירוע ואף לאחר מכן, יכולה להופיע שפילת ים חריפה אשר עלולה לסכן תשתיות כגון נמלים, להוסיב כלי שיט על קרקעית הים, לחשוף מתקני שאיבת מי ים לקירור הטורבינות בתחנות הכוח החופיות, לפגוע במתקני ההתפלה החופיים, ועוד.

הבנייה בים וברצועת החוף בישראל תוכננה ללא התחשבות בהיתכנות כוחות צונאמי, וטרם קיים בארץ תקן מתאים לבנייה המתחשב בפגיעת צונאמי. קיימת תקינה הנותנת מענה לצונאמי באופן חלקי במספר מוגבל של מדינות בעולם (יפן, ארה"ב ועוד) ותקינה מתקדמת נמצאת כעת בהכנה ע"י ועדה מיוחדת של אגודת המהנדסים האמריקאית (ASCE) בהשתתפות מומחים בינלאומיים, ופרסומה כתקן בארה"ב מתוכנן לשנת 2016.

הערכת נזק מצונאמי באופן שיטתי וכמותי, בדומה להערכת נזק מרעידות אדמה בעזרת תוכנת HAZUS, נמצאת כיום בחיתוליה (למשל: Eguchi et al., 2011; Tinti et al., 2013). בשנים האחרונות פותחו בעולם עקומות פגיעות ונזק מצונאמי כתלות בגובה ההצפה, המאפשרות הערכות נזק מתקדמות. בישראל טרם נעשתה הערכת נזק מצונאמי באופן כמותי, ואולם זהו נושא ראוי וחשוב למחקר עתידי והוא יספק כלים להעריך נזק ממגוון רחב של אירועים כולל אירועי קיצון.

הדיווחים ההיסטוריים באזורינו מלמדים על נזק לנמלים וערי חוף בשליש מהאירועים ואבדות בנפש בשליש אחר (החפיפה בין השלישים הללו חלקית, ראה נספח ב'). יחד עם זאת, המשך בניה אינטנסיבית של תשתיות חופיות, התיישבות צפופה ותרבות פנאי וספורט חופי וימי בהיקפים שלא היו קיימים בעבר, מגדילים באופן ברור את הסיכון (risk) באירוע צונאמי ביחס לעבר.

3 המלצה למדיניות ועקרונות התרעה מצונאמי

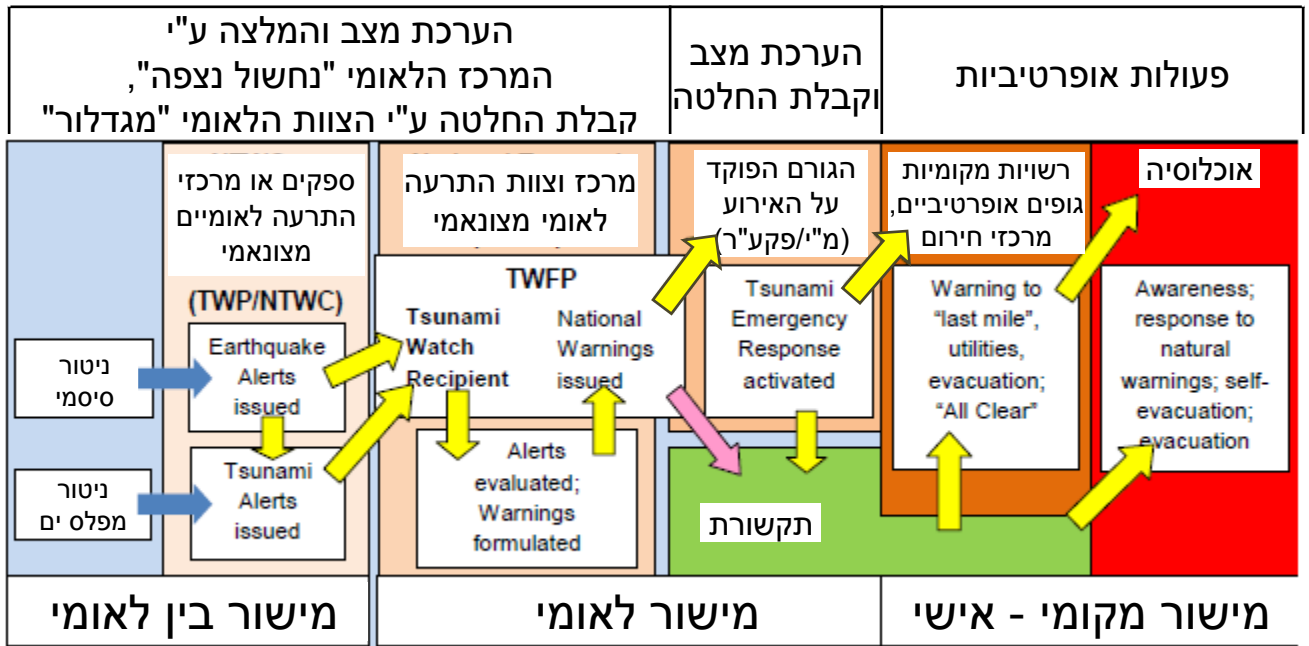
3.1 התרעה מצונאמי, מ"קצה לקצה"

המידע ההיסטורי והעכשווי מלמד שחופי הים התיכון של ישראל חשופים לאירועי צונאמי בעלי פוטנציאל נזק משמעותי. אומנם תדירות האירועים נמוכה וחלקם אף הסתיים ללא

נפגעים ונזק משמעותי, אולם עדיין ייתכנו אירועים בעלי פוטנציאל נזק בלתי נסבל ברמה הלאומית. זהו סיכון נדיר יחסית אך בעל פוטנציאל הרסני, כפי שכבר נלמד במספר אירועים בים התיכון (כדוגמת הצונאמי שפגע בשנת 365 לסה"נ באלכסנדריה לאחר רעידת אדמה הרסנית בכרתים, והצונאמי בחופי דרום איטליה וצפון אפריקה לאחר רעידת אדמה במצרי מסינה בשנת 1908) ובעולם, באוקיאנוס ההודי בשנת 2004 וביפן בשנת 2011. לפיכך, הועדה ממליצה על הקמה, או הכרזה על מוסד קיים, של הגופים הבאים במסגרת מערך ההתרעה "מים אדירים":

- א. **מרכז לאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי, יקרא מרכז "נחשול נצפה" (Israel)**
INTWC - National Tsunami Warning Centre ויהיה אחראי על גיבוש החלטה בזמן אמת בדבר הסבירות להתרחשות אירוע צונאמי בישראל והעברתה לגופים האופרטיביים ולצוות ההתרעה הלאומי (פרוט בפרקים 5, 6 בהמשך דוח זה).
- ב. **צוות התרעה לאומי לאירוע צונאמי, יקרא צוות "מגדלור"**, והוא אשר יקבל את ההחלטה האופרטיבית על רמת ההתרעה הנדרשת בכל אירוע פוטנציאלי. במקרה הצורך יפיץ הצוות את ההתרעה הנדרשת למרכזי ההפעלה האופרטיביים הפועלים 24/7 בישראל (פרק 7 בדוח זה).

המרכז והצוות הללו יטפלו בהתרעה מוקדמת מ- "קצה לקצה", כלומר מרגע היווצרות הצונאמי ועד להעברת ההודעה בדבר האירוע לאחורון האזרחים, דרך המרכזים המאווישים 24/7 בגופים האופרטיביים. מרכיבי תהליך ההתרעה מקצה לקצה מתוארים באופן סכמתי באיור 6 אשר מציג את שלביו השונים על פי התפיסה המקובלת כיום בעולם ואשר אומצה והומלצה לביצוע על ידי ICG/NEAMTWS. מלבד שלבי התהליך מציג האיור גם את המעבר מהמישור הבינלאומי שם מזוהה התרחשות האירוע למישור הלאומי שם מתבצע ניתוח עצמאי של האירוע והערכת מצב, ונלקחת החלטה בדבר הפצת התרעה, ועד למישור המקומי – אישי, שם נדרשת פעולת המענה בשטח. לוח הזמנים לביצוע התהליך "מקצה לקצה" מוצג בסרגלי הזמן בתחתית האיור ומשמש כיעד להשגה.



זמן פעולה לכל שלב בנפרד (דקות)

0	0-2	3-7	5-10	3	2	3-5	?	?
---	-----	-----	------	---	---	-----	---	---

זמן מצטבר לתהליך (דקות)

0	0-2	5-9	10-19	13-22	15-24	18-29	?	?
---	-----	-----	-------	-------	-------	-------	---	---

איור 6: סכמת הפעולה של מערכת ההתרעה הבינלאומית לים התיכון ואירופה, מקצה לקצה. זרימת המידע והעברת המסרים מרגע גילוי האירוע (צדשמאל) ועד מסירת ההתרעה לאוכלוסייה בסכנה (צד ימין). זרימת המידע מצוינת בחיצים כחולים, העברת מסרים בחיצים צהובים (או בוורוד במידה וקיים פרוטוקול לאומי לתיאום עם גופי התקשורת). לוח הזמנים הרצוי לניהול והצאת התהליך מצוין בסרגלים שבתחתית התרשים, ראה טבלה 7 לפרוט נוסף.

מעובד מתוך: 57, IOC Manuals and Guides, (2011), איור 4.1.

היכולת לבצע התרעה מסוג זה מתבססת על הבנה וידע מעמיקים של התופעה כמו גם חינוך, מוכנות, היערכות ויכולת מענה של הגופים האופרטיביים שאמורים להתמודד עם האירוע בשעת הצורך. כל אלה מהווים מנוף לצמצום ומזעור הנזק האפשרי, ובלבד שייבנו ויערכו מבעוד מועד.

3.2 אי וודאות ושיקולים מובנים בתהליך ההחלטה על ההתרעה

תהליך ההתרעה מתחיל על בסיס ניתוח מידע סיסמי על ממדי רעידת האדמה, ממשיך באינטגרציה של הניסיון ההיסטורי, שיקולי נזק, הסתברות ואי וודאות, ומגיע לסיכום ראשוני בצורך להפצת התרעה. בהמשך התהליך מאמתים או מבטלים ובמידת הצורך גם מעדכנים את חומרת ההתרעה על בסיס מידע מרשת תחנות ניטור מפלס הים ואמצעים נוספים של זיהוי היווצרות גלי צונאמי, ככל שקיימים. תהליך קבלת ההחלטה על ההתרעה צריך להיות מובנה על פי שיקולים קבועים מראש, מאחר ומשך הזמן מהיווצרות הצונאמי ועד הגעתו לחופי מדינת ישראל קצר מאוד: דקות ספורות במקרה של צונאמי מגלישת קרקע במדרון היבשת לאחר רעידת אדמה מקומית, וחצי שעה עד שעתיים במקרה של צונאמי מרעידת אדמה באזור קפריסין וכתים, בהתאמה.

על כן התרעה לצונאמי צריכה להיות מושכלת, ומתוך הבנה וידיעה שהיא כרוכה באי וודאות רחבה ואולי אף במחיר מסוים במקרה של התרעת שווא. במקביל, יש להיערך למזעור נזקים בעזרת פתרונות תכנוניים והנדסיים מתאימים כמו למשל, הגנה על פתחי היניקה והפליטה של משאבות הקירור של תחנות הכוח החופיות, וכד'.

להלן פרוט השיקולים העומדים בבסיס ההחלטה על מתן ההתרעה אשר עשויים או עלולים להשפיע על מהותה:

א. המאפיינים של רעידת האדמה

השלב הראשון בהתרעה מצונאמי נסמך על מידע מרעידות אדמה עוד בטרם נודע אם צונאמי נוצר. יתר על כן, הניסיון מלמד שגם המידע הראשוני על רעידת האדמה (כגון

מיקום הרעידה, המגניטודה שלה, עומק המוקד ולעיתים גם המנגנון המכאני) לעיתים אינו מדויק. בלית ברירה זהו הבסיס עליו אמורה להסתמך ההתרעה הראשונית.

עץ ההחלטות על התרעה מצונאמי בהתאם לפרמטרים של רעידת האדמה מסוכם בטבלת החלטה (Decision matrix) אשר מאפשרת לקבוע בזמן אמת אם אכן נוצר פוטנציאל לצונאמי. התנאים הללו משתנים ממקום למקום, כתלות במאפייני רעידת האדמה, במבנה הטקטוני והבתימטריה של הים. הסבר מפורט בסעיף 3.4.

ב. הסתברות ואי וודאות

מסתבר שלא כל רעידת אדמה בים מייצרת צונאמי, גם אם לכאורה קיים פוטנציאל לכך לפי טבלת ההחלטה. הסיבה לכך נעוצה במאפיינים של הרעידה (בעיקר מגניטודה ועומק) וכאמור לעיל, קיימת אי וודאות משמעותית בקביעתם של אלה בדקות הראשונות שלאחר הרעידה. על כן, אמינות ההתרעה לצונאמי המבוססת על רעידות אדמה הינה מוגבלת לא רק לגבי היווצרות הצונאמי, אלא גם לגבי ממדיו האפשריים. אי הוודאות מחריפה במקרה של רעידת אדמה יבשתית שמחוללת צונאמי עקב גלישת קרקע במדרון היבשת, מאחר והמנגנון המכאני של תהליך זה עדיין אינו מובן דיו באופן כמותי. בטכנולוגיה הפועלת כיום במזרח הים התיכון לא ניתן לדעת אם צונאמי אכן נוצר בעקבות רעידת אדמה ומהם מידותיו, אלא בשלב יותר מאוחר כאשר זוהה בזמן אמת באחת או יותר מתחנות ניטור מפלס הים הקרובות למקום האירוע, או נוטר בחוף אחר בהמשך דרכו, ואפילו רק כאשר כבר הגיע לחוף הישראלי.

המענה לאי הוודאות הינו בהתקנת מכשירי ניטור ישיר של צונאמי כמו למשל, רשת תחנות מכ"מ בתדר גבוה אשר מסוגלת לגלות גם צונאמי מגלישות קרקע (WERA, 2014); (Dzvonkovskaya and Gurgel, 2009), מצופי GPS, מערכות DART, כך שההתרעה תתבסס על מידע שצונאמי אכן נוצר מיד לאחר היווצרותו ועוד לפני שפגע בחוף. עד אז תישאר אי הוודאות מסוג זה מובנית בתהליך.

ג. פוטנציאל הפגיעה בנפש, הנזק ומחיר הטעות

בדומה לרעידות אדמה גם אירועי הצונאמי אינם אחידים בגודלם. ישנם אירועים חלשים שניתן לקלוט אותם רק באמצעות מכשור מתקדם וישנם אירועים הרסניים. פוטנציאל הנזק מצונאמי תלוי גם בעונות השנה והיוממות (פיזור האוכלוסייה בשטח ובמבנים לאורך שעות היממה), כך שתוצאותיו של אירוע נתון בליל חורף יהיו שונות בתכלית מתוצאותיו של אותו האירוע ביום חופש קיצי. מאידך, גם להתרעת שווא יש מחיר, לכל הפחות כלכלי. כל התרעה, אמת או שווא, כרוכה בשבירת השגרה של היום יום, בפינוי אוכלוסייה ופעולות חירום במתקני תשתית, והיא כרוכה בהפסדים כלכליים, ובמקרה של מספר התרעות שווא גם באובדן אמון במערכת.

על כן, רצוי להתאים את חומרת ההתרעה לתוצאותיו האפשריות של האירוע, ולמנוע ככל האפשר התרעות שווא. לשם כך חשוב להעריך מראש מה עלול להיות מחיר האירוע (נפגעים, נזק, עלויות, וכד') בטרם התקבלה החלטה על ההתרעה. מאידך, בשל פוטנציאל הנזק העצום מצונאמי, מחירה של התרעת חסר או אי-התרעה עלול להיות בלתי נסבל ברמה הלאומית. הערכת חסר משמעותה התרעה על אירוע חלש ואולי אף הימנעות מהתרעה בשעה שבפועל יתרחש אירוע הרסני, ואילו הערכת יתר תגרום להתרעה חמורה כאשר בפועל יקרה אירוע חלש אם בכלל. שני המצבים הללו עלולים לגרום לאובדן אמון הציבור במערכת ובמקרה של הערכת יתר אף לבהלה מיותרת, בזבוז משאבים ואף נזק כלכלי. על כן, על מנת להוציא התרעה מושכלת יש צורך במידע נוסף שיתמוך בהחלטה ואשר יכלול שיקולים כלכליים, חברתיים ומוסריים, כגון:

- א. מהו פוטנציאל הנפגעים, הנזק, והעלויות של אירוע הצונאמי?
- ב. מהו המחיר של התרעת שווא?
- ג. האם להתריע רק כאשר עלות הנזק הצפוי גדולה מהמחיר של התרעה שווא?
- ד. בהעדר מידע, מהו הסף המינימלי להפצת התרעה, האם ההחלטה על התרעה צריכה להיות שמרנית מטבעה, כלומר "לא לוקחים סיכון"?

3.3 תהליך מתן ההתרעה לצונאמי לאחר רעידת אדמה רחוקה

בהינתן מכלול השיקולים שתוארו לעיל, כולל אי הוודאויות ומחירה של התרעת שווא, הועדה ממליצה לנקוט בגישה מדורגת בעלת שני שלבים במתן ההתרעה לצונאמי מרעידת אדמה רחוקה לאוכלוסייה האזרחית:

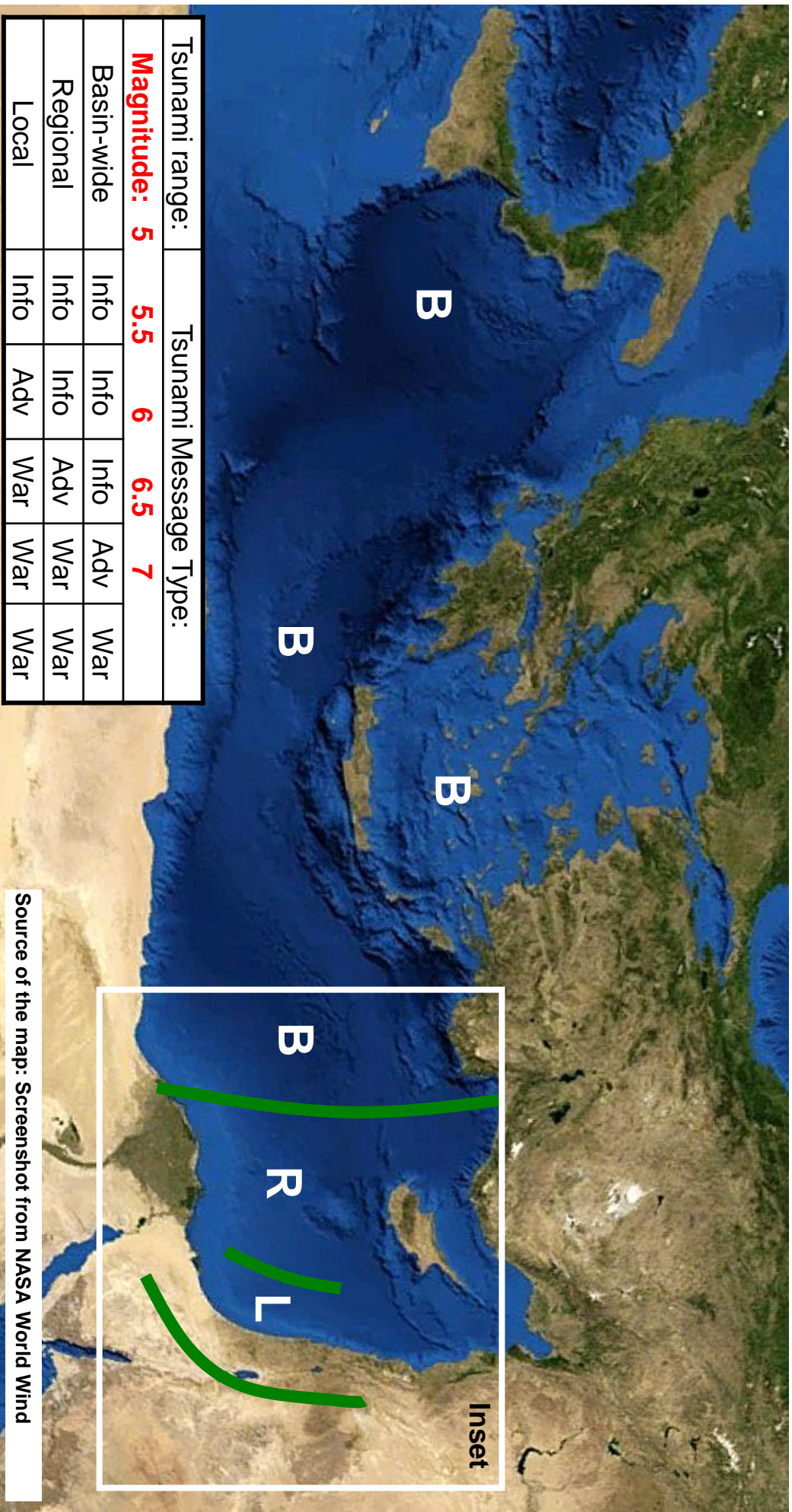
א. **שלב ראשון – מצב "היכון"**: העלאת המוכנות והכוננות בגופים האופרטיביים והתשתיות הלאומיות הפרוסים לאורך אזורי האיום המוגדרים לאורך חופה של מדינת ישראל, עדיין ללא התרעה לאוכלוסייה, וזאת במטרה לקדם מוכנות, להעלות ערנות ואולי גם לקרב כוחות לאזורי הסיכון לאורך החוף.

ב. **שלב שני - מצב "הפעל"**: שלב המיועד לכלל הגורמים במדינה, בו קיימת סבירות גבוהה ואולי אף וודאות לאירוע צונאמי, בהסתמך על המידע המנותח על ידי אנשי המקצוע האחראיים בישראל, ובהתאם לקריטריונים שיקבעו על ידי מרכז "נחשול נצפה" וצוות "מגדלור". הצפי הינו שמצב "הפעל" יבוא לאחר מצב "היכון", ואולם יתכנו מצבים בהם יופעל מצב "הפעל" ישירות לגופים האופרטיביים ללא מצב ביניים, וזאת בהתאם למאפיינים שיוגדרו מראש בטבלת החלטה ובהמשך יעודכנו עם צבירת ידע וניסיון. כמו כן יש להניח שיתכנו מצבי ביניים מורכבים בהם המידע הזמין יהיה מוגבל ומעורפל ותידרש החלטה מושכלת של צוות "מגדלור" באשר לחומרת האירוע ורמת ההתרעה הנדרשת.

3.4 קריטריונים למתן התרעה

בהינתן אי הוודאות הכרוכה במתן התרעה באמצעים הקיימים כיום, בהיעדר היכולת לחזות מבעוד מועד בדיוק מספק את ממדיו של הצונאמי הצפוי, ובחוסר האפשרות להעריך את הנזק הצפוי, הועדה ממליצה לאמץ את הקריטריונים הנהוגים בקבוצת התאום הבין-ממשלתית להקמת מערכת ההתרעה הבינלאומית בחופי אירופה והים התיכון (ICG/NEAMTWS) כפי שעובדו לתנאים הייחודיים בישראל (טבלה 3). התנאים והשיקולים העומדים בבסיס החלטה באם קיים פוטנציאל לצונאמי מפורטים בטבלה 3 שלהלן, לפי סדר העמודות מימין לשמאל:

- א. עומק המוקד הינו רדוד (פחות) מ- 100 קמ' (עמודה א'); ככלל, הסיכוי להיווצרות צונאמי קטן ככל שעומק המוקד גדל.
- ב. מיקום המוקד הינו בים, או ביבשה במרחק של עד 100 קמ' מחוף הים התיכון של ישראל (עמודה ב'); ;
- ג. המגניטודה (Mw) גדולה מ- 5.6. בשל אי הוודאות בהערכת המגניטודה בזמן אמת (טבלה ג' 7), כאשר בפועל עלולה להתרחש רעידה במגניטודה 6 אשר תוערך כחלשה יותר, הוצב סף ההתרעה התחתון כ- 5.6. במצבים אלה יידרש צוות "מגדלור" לשיקול דעת באם להוציא התרעה לציבור אם לאו.
- ד. ככל שהמגניטודה גדלה (עמודה ג'), כך גדלים הפוטנציאל לצונאמי הרסני והתחום המועד לפגיעה (עמודה ד'), הפריסה הגיאוגרפית של תחומי הסיכון הללו מוצגת באיורים 7, 8) על פי ההגדרות הבאות:
1. תחום מקומי (Local) - אזור מועד לרעידות אדמה שעלולות לחולל צונאמי מקומי או אזורי או מרחבי שיפגע בישראל.
 2. תחום אזורי (Regional) - אזור מועד לרעידות אדמה שעלולות לחולל צונאמי אזורי או מרחבי שיפגע בישראל.
 3. תחום מרחבי (Basin-Wide) - אזור מועד לרעידות אדמה שעלולות לחולל צונאמי מרחבי שיפגע בישראל.



Tsunami range:	Tsunami Message Type:					
Magnitude:	5	5.5	6	6.5	7	
Basin-wide	Info	Info	Info	Info	Adv	War
Regional	Info	Info	Info	Adv	War	War
Local	Info	Adv	War	War	War	War

Source of the map: Screenshot from NASA World Wind

הפרישה הגיאורפית של אזורי הסיכון לצירוף אונאמי שעלול לפגוע בישראל, מבט אזורי (מעובד מרוד : Salamon, 2011)

Tsunami range:	Tsunami Message Type:					
Magnitude:	5	5.5	6	6.5	7	
Basin-wide	Info	Info	Info	Info	Adv	War
Regional	Info	Info	Info	Adv	War	War
Local	Info	Adv	War	War	War	War

Basin-wide

Message Type:

Information: M < 6.5

Advisory: M 6.5 – 7

Warning: M > 7

Regional

Message Type:

Information: M < 6

Advisory: M 6 – 6.5

Warning: M > 6.5

Local

Message Type:

Information: M < 5.5

Advisory: M 5.5 – 6

Warning: M > 6

Source of the map:
Screenshot from NASA World Wind

טבלה 3 טבלת החלטה להתרעה מצונאמי בישראל על פי מאפייני רעידת האדמה

ה. סוג המסר לאזור הסיכון			ד. הפוטנציאל לצונאמי	ג. טווח מגניטודת המומנט (Mw)	ב. מיקום המוקד ביחס לחוף הים	א. עומק המוקד
תחום מרחבי	תחום אזורי	תחום מקומי				
מעל 400 קמ' מהמוקד	עד 400 קמ' מהמוקד	עד 100 קמ' מהמוקד	פוטנציאל זניח לצונאמי מקומי	5.0 עד 5.5	בכל מקום בים; ביבשה במרחק קטן מ- 100 קמ' מהחוף	פחות מ- 100 קמ'
שים לב (Information) אין דיווח	שים לב (Information) אין דיווח	שים לב (Information) אין דיווח	פוטנציאל מועט לצונאמי מקומי	5.6 עד 6.0		
שים לב (Information) אין דיווח	שים לב (Information) אין דיווח	אזהרה (Advisory) היכון	פוטנציאל לצונאמי מקומי	6.1 עד 6.5		
שים לב (Information) אין דיווח	אזהרה (Advisory) היכון	אזהרה חמורה (Watch) הפעל	פוטנציאל לצונאמי <u>מקומי</u> הרסני בטווח של עד 100 קמ' מהמוקד	6.6 עד 7.0		
אזהרה (Advisory) היכון	אזהרה חמורה (Watch) הפעל	אזהרה חמורה (Watch) הפעל	פוטנציאל לצונאמי <u>אזורי</u> הרסני בטווח של עד 400 קמ' מהמוקד	7.1 ומעלה		
אזהרה חמורה (Watch) הפעל	אזהרה חמורה (Watch) הפעל	אזהרה חמורה (Watch) הפעל	פוטנציאל לצונאמי <u>מרחבי</u> הרסני בטווח של למעלה מ- 400 קמ' מהמוקד	5.0 ומעלה	ביבשה, מעל 100 קמ' מהחוף	
שים לב (Information) אין דיווח	שים לב (Information) אין דיווח	שים לב (Information) אין דיווח	אין פוטנציאל לצונאמי	5.0 ומעלה	בכל מקום	יותר מ- 100 קמ'
שים לב (Information) אין דיווח	שים לב (Information) אין דיווח	שים לב (Information) אין דיווח	אין פוטנציאל לצונאמי	5.0 ומעלה	בכל מקום	יותר מ- 100 קמ'

סוג המסר המופץ עבור כל אחד מתחומי הסיכון הללו (עמודה ה') נקבע על פי המיקום של האירוע הנדון בטבלת ההחלטה. מאחר והמסרים שספקי האזהרה מפיצים למרכז ההתרעה הלאומי אינם בהכרח זהים לאלה שיופצו הלאה לגופים האופרטיביים, יש לתאם בין המונחים וההגדרות כדי שחומרת האזהרה תישמר לאורך כל מסלול הדיווח: החל מספקי האזהרה הבינלאומיים למרכז "נחשול נצפה"; משם לגופים האופרטיביים ולצוות "מגדלור" שבמקרים מסוימים אף יחליט בעצמו על העברת ההתרעה לגופים האופרטיביים, לאוכלוסייה ולתשתיות בעורף. המונחים הללו מוצגים בטבלת ההחלטה

(טבלה 3) כאשר המסרים (עמודה ה') הכתובים בצבע שחור משמשים בתקשורת שבין ספקי האזהרה הבינלאומיים למרכז "נחשול נצפה", ואילו **המסרים הכחולים** משמשים בתקשורת שבין מרכז "נחשול נצפה" לצוות "מגדלור" וממנו לגופים האופרטיביים. ההקבלה בין המונחים הללו מפורטת גם בטבלאות 4 א' ו- 4 ב' להלן. הניסיון המועט שהצטבר (המושג העשירי של ICG/NEAMTWS ברומא) מלמד שהשיקולים הללו, גם אם הם שמרנים במהותם, אינם מכסים את כל המצבים האפשריים ואין תחליף לידע והבנה מקצועיים הנדרשים בידי מקבלי ההחלטות בזמן אמת.

טבלה 4 א': סוגי הודעות (מסרים) האזהרה הבינלאומיות מצונאמי, מהקל אל הכבד

שוג מסר/חומרת הסכנה	המאפיינים של גל הצונאמי	השפעה אפשרית על החוף
שים לב Information	לא צפוי צונאמי	-
אזהרה Tsunami Advisory	גובה גל בחוף פחות מחצי מטר ו/או רום הצפה מרבית (-run up) ביבשה לגובה טופוגרפי של פחות ממטר מעל פני הים	צפויים זרמים, נחשולים, נסיגת ים, נזק בנמלים, הצפה מוגבלת לאורך החוף
אזהרה חמורה Tsunami Watch	גובה גל בחוף מעל חצי מטר ו/או רום הצפה מרבית (-run up) ביבשה לגובה טופוגרפי של לפחות מטר מעל פני הים	כל הסממנים המאפיינים צונאמי, לרבות הצפה נרחבת לאורך החוף.

הערה: הצבעים שמתארים את סוגי המסר בטבלאות 4 א', 4 ב', עוקבים אחר הצבעים בטבלת ההחלטה (טבלה 3 לעיל).

טבלה 4 ב': טבלת המרה של סוגי המסרים המשמשים לתקשורת בין מערכות ההתראה

מסרים ממרכזי האזהרה הבינלאומיים למרכז "נחשול נצפה" (המינוח הבינלאומי)	משמעות הדיווח	דיווח ממרכז "נחשול נצפה" לצוות "מגדלור"	דיווח מצוות "מגדלור" לגופים האופרטיביים	דיווח ישיר ממרכז "נחשול נצפה" לגופים האופרטיביים במקרה של צונאמי וודאי
"שים לב" (Information)	רעידת אדמה ללא סכנה מצונאמי בישראל	העברת דיווח והתייעצות	אין דיווח	אין דיווח
"אזהרה" (Advice)	אפשרות לאירוע צונאמי 'קטן'	העברת דיווח והתייעצות	החלטה: "היכון" או "הפעל"	החלטה: "היכון"
"אזהרה חמורה" (Watch)	אפשרות לאירוע צונאמי 'גדול'	העברת דיווח והתייעצות	החלטה: "היכון" או "הפעל"	החלטה: "הפעל"

הערה: טבלה זו מהווה חזרה על טבלה 1

4 מסגרת להיערכות ותקינה ייעודית לצונאמי בישראל

4.1 מסגרת להיערכות לצונאמי במדינת ישראל

משהב"ט – רח"ל כמו גם גופי התשתית והחירום בישראל העלו דרישה לתרחיש צונאמי מנחה אשר יקבע מהם הפרמטרים הנדרשים עבורם להיערכות, כגון: גובה מים מרבי בקו המים בעת מצב ים שקט, גובה הצפה מרבי לתכן, מהירות התקדמות חזית הגל בקו המים בעת מצב ים שקט, גובה ההצפה המרבי אליו נדרשת המדינה להיערך, נפח המים המרבי שעלול להימצא מעל פני הקרקע לפני נסיגת הצונאמי, מרחק חדירת המים ליבשה, וכד', והמשמעויות הנגזרות מפרמטרים אלה בהיבט של המענה הנדרש לטיפול בנזקים הצפויים.

דרישה זו עבור אירועי צונאמי מקבילה באופן עקרוני ל"מסגרת היערכות לרעידות אדמה הרסניות בישראל" כפי שנקבעה על ידי יו"ר ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות לרעידות אדמה (שפירא, 2011). חשוב לציין ש"מסגרת להיערכות" שונה במהותה מתקן בניה באשר היא מגדירה לגופי החירום, התשתיות והאוכלוסייה את היקף האירוע אליו יש להיערך ברמת נהלים, הכנות לציוד חירום, וכד', בשעה שתקן בניה הינו כתב הנחיה הנדסי לבניה לשרידות לצונאמי (עדיין לא קיים בישראל וגם לא באירופה).

מוצע על כן להגדיר את הקריטריון ההסתברותי (להתרחשות אירוע) להיערכות מדינת ישראל לצונאמי על בסיס הניסיון ההיסטורי של האירועים החמורים בעלי תקופת זמן חזרה ממוצעת של כ- 1,000 שנה, בסגנון הדומה לקריטריון ההסתברותי (להתרחשות נזק) שעליו נסמכת המסגרת להיערכות לרעידות אדמה העומד על 5% בתקופה של 50 שנים (שפירא, 2011). על בסיס האירועים הללו יערכו הדמיות מחשב אשר יתייחסו לשונות ואי הוודאות הכרוכים באופיו של האירוע שעליו מתבססת המסגרת להיערכות וייקבעו הפרמטרים המאפיינים כדוגמת גובה מים מרבי בקו החוף ומרחק הצפה, וינותחו המשמעויות הנגזרות מתרחיש זה לגבי הנזקים הצפויים במתקני תשתית חיוניים בישראל.

המסגרת להיערכות לצונאמי תתבסס לפיכך על שתי קבוצות האירועים החמורים שקרו בחלון הזמן ההיסטורי באופן הבא :

א. צונאמי מרעידת אדמה על בסיס האירועים החמורים ביותר שמקורם היה בקשת ההלנית, בשנים 365 ו-1303 ;

ב. צונאמי מגלישות קרקע על בסיס האירועים מהשנים 1202 ו-1759 שמקורם בגלישת מדרון בחוף המזרחי של הים התיכון.

בהסתמך על האירועים האלה יערכו הרצות תרחישים ממוחשבות בחיא"ל כפי שיאופיינו במג"ל, וייקבעו הפרמטרים המומלצים להתייחסות. כערך ביניים ועד אשר תושלם העבודה, נקבע ע"י יו"ר ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות לרעידות אדמה בישראל (שפירא, 2013) טווח הצפה מרבי כפי שסומן במפות הסיכון הראשוניות שהוכנו ע"י מג"ל (סלמון, 2009 ; על בסיס הדמיות שהורצו בחברת URS על ידי Thio, 2009), ובמקומות החסרים (ראש הנקרה – עכו ; עתלית – הרצליה ; בת ים - אשדוד) הטווח יושלם על ידי קו גובה +5 מ' מעל אפס האיזון הארצי במצב ים שקט וללא התחשבות במצב מועדי הים (המפות נערכו על ידי מפ"י). זו היא החלטה מנהלתית זמנית שמטרתה לקדם את המסגרת להיערכות, והיא תעודכן כאשר יפורסמו הממצאים מהרצות התרחישים הממוחשבות.

הניסיון שהצטבר מהרצת תרחישי צונאמי עדכניים (גלנטי וחובי, 2009, 2010) מלמד שישנם אזורים המועדים להצפה גם מעבר לטווח שסומן במפות הסיכון של מג"ל (סלמון, 2009), כאשר ההצפה עלולה להגיע בכמה מקומות עד גובה 10 מ' מעל אפס האיזון הארצי, בתחום ההצפה הקרוב יותר לשפת הים. ככל הנראה, מפות מג"ל משקפות הערכת חסר והאזור המועד להצפה הינו נרחב יותר. עד אשר יושלמו ההרצות העדכניות, הועדה סומכת ידיה על המסגרת להיערכות לצונאמי שפורסמה ע"י יו"ר ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות לרעידות אדמה (שפירא, 2013).

4.2 תקינה ייעודית לבניה עמידה לצונאמי בישראל

ניסוח תקינה ייעודית לבניה עמידה לצונאמי הכרחי לתכנון הנדסי ראוי של מבנים חדשים כמו גם חיזוק מבנים קיימים, ומהווה מפתח למזעור נזקים. בישראל, כמו גם ביתר המקומות בים התיכון ובאירופה, אין עדיין תקינה לבניה עמידה לצונאמי והבנייה בים וברצועת החוף נעשתה עד כה ללא התחשבות בסכנות אלה. התקינה הקיימת בעולם נותנת מענה חלקי בלבד ומיושמת במספר קטן של מדינות (למשל, יפן וארה"ב). תקינה מתקדמת נמצאת כעת בהכנה על ידי אגודת המהנדסים האזרחיים האמריקאית (ASCE) בהשתתפות מומחים בינלאומיים, ופרסומה צפוי רק בשנת 2016 (Chock, 2013). תקינה המכסה חלק מההיבטים של פגיעת צונאמי (הצפה) מכוסה במדריך של FEMA 646 (2008). ההיבטים שנדרש להתייחס אליהם כוללים לדוגמא: עומסים המתפתחים בעקבות פגיעה פיזית של הצונאמי (לחץ הידרוסטטי והידרודינמי), פגיעת צופת קשיחה (debris) במבנים ואנשים, שינוי מהלך העמסה עקב הצפה נמשכת והתפתחות כוח עילוי שמשנה את התפלגות המאמצים שאינם מכוסים בתקינה הנוכחית (למשל בקורות בטון, בגשרים ובמבנים מוצפים), חשיפת וגריפת קרקע הגורמים למצבי חוסר יציבות וכד'.

בשל המורכבות והמאמץ הרב הכרוכים בניסוח תקני בניה חדשים ניתן בשלב ראשון לאמץ תקינה לצונאמי ממקומות אחרים בעולם ולהתאימה לתנאים הייחודיים בישראל. עבור מתקני תשתית חיוניים, הועדה ממליצה לאמץ קריטריון ההסתברותי של אירוע צונאמי עם תקופת חזרה ממוצעת של 2,500 שנה (2% בתקופה של 50 שנה) כפי שיושם בארה"ב (Chock, 2013).

5 המרכז הלאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי, "נחשול נצפה" - הרעיון המסדר

לצורך מימוש היכולת להפיץ התרעה מצונאמי בישראל מקצה לקצה, לרבות היכולת לקבל התרעה ללא עיכוב מהרגע שהופצה על ידי המערכות הבינלאומיות, להפיק אזהרה באופן עצמי ועצמאי על בסיס אירועים מקומיים ורחוקים, ולקבל במהירות החלטה מקצועית ולהפיץ אותה במהירות לגופי המענה הראשוני, לאוכלוסייה ולתשתיות הלאומיות –

נדרשת מערכת לאומית להתרעה מוקדמת מצונאמי בישראל שתכיל את כל המרכיבים האופרטיביים הללו; תהיה מקצועית, אמינה, יציבה, וזמינה 24/7 לאורך כל השנה. כמו כן, המערכת נדרשת לגיבוי, יתירות והגנת סייבר וביטחון מידע על מנת לתפקד ברמת שרידות גבוהה בשעת חרום, ולמנוע ניצול לרעה של תשתית ההתרעה הלאומית כדי לפגוע בחוסן הלאומי ובתשתיות הלאומיות.

כפי שהוצע קודם לכן, בסעיף 3.1, מערך ההתרעה מצונאמי בישראל, "מים אדירים", יורכב משני גופים עיקריים, הראשון הינו מרכז מדעי במהותו (מרכז "נחשול נצפה") והשני הוא צוות התרעה לאומי, במהותו צוות אופרטיבי (צוות "מגדלור"). בפרק זה מוצג הרעיון המסדר של מבנה ותפקוד המרכז המדעי "נחשול נצפה", ובפרק שלאחריו יפורטו תהליך ההתרעה "מקצה לקצה" והמענה הנדרש בעקבות מסרים שיגיעו מספקי האזהרה האירופאים. מבנה ודרכי הפעלה של מערכת בעלת יכולות עצמאיות לזיהוי והתרעת צונאמי מרעידות קרובות ורחוקות, יידון במסגרת אחרת.

מבנה ותפקוד החלק האופרטיבי (צוות "מגדלור") של המערכת יוצג כאן באופן ראשוני בלבד (פרק 7) ויפורט בהמשך על ידי צוות היגוי בין משרדי העוסק בכתיבת התורה הלאומית להיערכות מדינת ישראל והתמודדותה עם אירוע צונאמי, כפי שמנוהל במשהב"ט – רח"ל.

5.1 מרכז "נחשול נצפה" – המטלה המרכזית

מרכז "נחשול נצפה" יכיל את כל המרכיבים הנדרשים לבניית יכולת עצמית ועצמאית לזיהוי מוקדם של אירוע צונאמי שעלול לסכן את מדינת ישראל. יכולת זו כוללת זיהוי מוקדם וניתוח מהיר של רעידות אדמה, הן רחוקות והן קרובות, בעלות פוטנציאל ליצירת צונאמי שכזה. המרכז נדרש להעריך בזמן אמת את רמת הסכנה מצונאמי ולהעביר את המידע והערכת המצב לצוות "מגדלור" אשר יחליט על אופי ההתרעה ("היכון", "הפעל", "ביטול היכון/הפעל" "חזרה לשגרה") למרכזי ההפעלה האופרטיביים 24/7, ומשם בהתאם לרמת ההתרעה שנקבעה, עד לאחרון האזרחים, באמצעי המדיה האלקטרונית הזמינים במדינת ישראל ואחרים.

חשוב לציין כי בהתאם למוסכם במערכות ההתרעה הבינלאומיות מצונאמי בים התיכון, ישנו מעמד שונה בין מסרים בינלאומיים לבין הודעות לאומיות פנימיות. בשעה שכל מדינה אוטונומית להוציא התרעה פנימית לעצמה, הרי שביחסים בינלאומיים מדינה אינה יכולה להתריע את שכנתה אלא לכל היותר להעביר אליה מסר של אזהרה. על כן נעשתה הבדלה חדה בין המונחים המשמשים לטובת מסרים פנים-לאומיים (התרעה - warning) לבין מסרים בין-לאומיים (אזהרה - watch).

5.2 מרכז "נחשול נצפה" בעל יכולת פעולה עצמית, עצמאית ומבצעית

יתכנו מצבים בהם ישראל לא תקבל בהכרח אזהרה לצונאמי ממקורות חיצוניים למרות שבפועל תיתכן סכנה ממשית. למשל:

- א. פגיעה בתפקוד המערכות של ספקי האזהרה האירופאים כתוצאה מרעידת אדמה שעלולה ליצור צונאמי. רמת השרידות של המערכות הללו עדיין לא ברורה ולמרות אחריותן ושאיפתן לתפקוד על הצד הטוב ביותר הן עלולות להיכשל. ייתכן גם אי תפקוד זמני מסיבות אחרות כגון תחזוקה, וכד'.
- ב. הערכת חסר של הסיכון כתוצאה מהיעדר מידע, שיקול דעת מקצועי שגוי, וכד'.
- ג. אירוע באזורים שנמצאים מחוץ לתחום הפיקוח והבקרה של ספקי האזהרה האירופאיים אך עדיין מהווים סכנה למדינת ישראל, למשל באזור הדלתה של הנילוס.
- ד. אירוע מקומי סמוך לישראל, בים או ביבשה, מחוץ לאזור הפיקוח של ספקי האזהרה הללו. אירועים מסוג זה נחשבים "מקומיים" (סעיף 3.4) והמערכת האירופאית החליטה כי לא תטפל בהם והשאירה אותם לאחריות כל מדינה בפני עצמה.
- ה. אירוע ספונטני (ללא רעידת אדמה מקדימה) כמו למשל גלישה תת ימית במדרון היבשת של ישראל או מול הדלתה של הנילוס בים.

ו. המרכזים האירופאים שהתנדבו לשמש כספקי אזהרות מצונאמי (כל אחד באזור ימי מסוים) אחראיים על דיווח אירועים בים התיכון בלבד ולכן לא תתקבל התרעה חיצונית לגבי אירועים במפרץ אילת, הכנרת וים המלח.

המענה למצבים הללו הינו מערכת התרעה מקומית, ישראלית, בעלת יכולת עצמאית לניטור סיסמי וימי מתקדם המסוגלת לאמת היווצרות צונאמי (פרוט בסעיף 5.4 להלן), כולל התרחשויות באזור הקשת ההלנית (וראה גם סעיף 4.6). בנוסף, יש להיערך לשילוב מידע שיופק מהדמיות תרחישים של אירועי צונאמי לתוך בנק נתוני תרחישים ממוחשב, למשל באמצעות מערכת ניהול אירועים כדוגמת TRIDEC (Waechter et al., 2012;) (Hammitzsch, 2012; TRIDEC, 2014), או דומה לה. מערכות אלה תומכות באופן אוטומטי את תהליך קבלת ההחלטה על הוצאת התרעות מצונאמי.

5.3 מיקומו של מרכז "נחשול נצפה" בישראל

מיקומו המיטבי של המרכז הלאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי בישראל אינו פשוט לקביעה, וההחלטה בנושא תלויה בגורמים ואילוצים רבים. מצד אחד, דרישות הסף למרכז הלאומי כוללות ידע והבנה מקצועיים בתחום; מבצעות 24/7; יכולת קבלת החלטות; קשר אמין, רציף, מגובה ויתיר; יכולת לטפל בתהליך ההתרעה "מקצה לקצה". מאידך, המצב הנוכחי בארץ מלמד שהידע המקצועי סיסמולוגי-טקטוני מצוי באגף לסיסמולוגיה במכון הגיאופיסי (מג"י) ובמכון הגיאולוגי (מג"ל), הידע הימי מצוי במכון לחקר ימים ואגמים לישראל (חיא"ל), אבל אף לא אחד מגורמים אלה הינו בעל יכולת מבצעית 24/7. מערכת הקשר המהירה והאמינה ביותר, GTS, מצויה בשרות המטאורולוגי שהוא אומנם אופרטיבי 24/7 ובעל ניסיון בהוצאת התרעות מזג אוויר, אך ללא הידע הנדרש בסיסמולוגיה וצונאמי. חמ"ל משטרת ישראל (מ"י) ופיקוד העורף (פקע"ר) אכן מבצעים 24/7, אך הם חסרי ידע מקצועי בנושא סיסמולוגיה וצונאמי וללא תקשורת .GTS

בהתחשב ביתרונות ובחסרונות שנמנו לעיל, הועדה ממליצה להטיל את האחריות על הקמה או הכרזה על מקום קיים כמרכז "נחשול נצפה" בהיבט המקצועי-מדעי, בעדיפות ראשונה על האגף לסיסמולוגיה במכון הגיאופיסי לישראל⁹, בתיאום עם משהב"ט – רח"ל.

5.4 מערכת לזיהוי צונאמי בזמן אמת

בשל אי הוודאות הרבה הכרוכה בהתרעה מצונאמי על בסיס רעידות אדמה, הסיכוי הגבוה להתרעות שווא והיווצרות צונאמי ללא רעידת אדמה מקדימה, מומלץ לקלוט ולשלב במערכת ההתרעה רכיבים טכנולוגיים שיוכלו לזהות צונאמי מבעוד מועד, לפני הגיעו לחוף הישראלי. זהו אומנם שיפור טכנולוגי ביסודו, אבל תרומתם הפוטנציאלית של הרכיבים הללו לשיפור באמינות המערכת וצמצום מספר התרעות השווא צפויה להיות משמעותית. אחד האמצעים המובילים בתחום זה הינו מערכת תחנות מכ"מ בתדר גבוה המאפשרת לזהות ולהתריע על גלי צונאמי במיקום קו עומק מים של 100 מ' בקרוב (Dzvonkovskaya and Gurgel, 2009 ; WERA, 2014), לרבות כאלה שמקורם בגלישות תת-ימיות. בהינתן רוחב מדף היבשת בישראל עד לעומק זה, המערכת תוכל לספק זמני ההתרעה מצונאמי בסדר גודל של כ- 3 דקות ועד כ-20 דקות לכל היותר, תלוי במיקום היווצרותו של הצונאמי, ומיקומה של הנקודה הנדרשת להתרעה לאורך החוף. אמצעים נוספים יכולים להיות מצופי GPS כדוגמת אלה המופעלים ביפן, ותחנות ניטור מפלס ים בזמן אמת המוצבות רחוק מהחוף, למשל על גבי אסדות הפקה וטיפול בגז שבתחום המים הכלכליים של ישראל (מתקנים קיימים) או מערכות DART שיוצבו בים העמוק, הרחק מהחוף הישראלי. שילוב של מערכת מכ"מ עם אמצעים נוספים כדוגמת אלה שנוכרו לעיל, נתמכים בשיתוף פעולה עם מרכזים בינלאומיים באגן המזרחי של הים התיכון, יאפשר לזהות צונאמי בוודאות גם ממקורות רחוקים יותר ממדף היבשת הישראלי.

⁹ יצוין שבתאריך 2.11.2008 התקיימה ישיבה ביוזמת מנכ"ל משרד התשתיות דאז ומזכיר הוועד הישראלי לאונסקו, ובה סוכם על ידי המנכ"ל "להגדיר את המכון הגיאופיסי כ-TWEP להתרעה צונמי בישראל".

6 מבנה מוצע למרכז "נחשול נצפה" על בסיס מסרים בינלאומיים מספקי אזהרות מצונאמי של ICG/NEAMTWS

מוצע להקים את המרכז הלאומי הישראלי בשני שלבים. השלב הראשון, זה הנסמך על קבלת מסרים על אירועי צונאמי מספקי אזהרה בינלאומיים והפצת התרעה במדינת ישראל, מפורט בדוח זה ואילו השלב השני, הנסמך על מתן התרעה על בסיס מידע ממקורות עצמיים, יידון בעבודת המשך במסגרת אחרת.

יש לוודא שהנהלים ושיטות העבודה של המרכז הלאומי יסונכרו עם ההחלטות וההמלצות של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית לים התיכון ואירופה ICG/NEAMTWS, ועם הסטנדרטים הנהוגים במערכות האירופאיות המקבילות, ובפרט אמצעי הקשר והשפה המשותפת. נספח ג' מפרט את הגדרות היסוד של המערכת האירופאית כפי שהומלצו על ידי קבוצת התיאום הבין-ממשלתית.

6.1 הקמת המערכת בשלבים

כדי שלא להתעכב בהקמת מרכז "נחשול נצפה" מוצע להתקדם בשני השלבים במקביל:

א. **שלב ראשון** - הקמת מרכז "נחשול נצפה" על בסיס תשתיות קיימות באגף סיסמולוגיה שבמכון הגיאופיסי, בטווח זמן של חודשים ספורים, אשר יתבסס על קבלת מסרי אזהרה מצונאמי שנגרמו ע"י רעידות אדמה רחוקות במזרח הים התיכון מספקי אזהרה בינלאומיים של ICG/NEAMTWS ועיבוד מידע שייאסף על ידי הרשת הסיסמית הישראלית ומרשת תחנות ניטור מפלס הים בזמן אמת של ICG/NEAMTWS. הפרק הנוכחי דן במבנה המערכת הנדרש למלא תפקיד זה. חשוב לציין שהיחסים ההדדיים בין המדינות החברות בקבוצת התיאום הבין-ממשלתית ICG/NEAMTWS מחייבים שקבלת מסרים אלה תענה באספקת מידע שוטף בזמן אמת מתחנות ניטור סיסמיות ומתחנות ניטור של מפלס הים המופעלות בישראל על ידי מג"י וחיא"ל, בהתאמה.

ב. **שלב שני** אשר בביצועו חשוב להתחיל כבר במקביל לשלב הראשון – הינו פיתוח יכולות להתרעה עצמאית מקומית באגף סיסמולוגיה שבמכון הגיאופיסי הנסמכת בין השאר גם על אמצעים לאימות היווצרות צונאמי (ראה סעיף 5.4) שיכול להחליט ולהפיץ בכוחות עצמו התרעה מצונאמי כתוצאה מרעידות אדמה מקומיות ורחוקות וגם אזהרות למרכזים לאומיים במדינות אחרות.

כמובן, יש לצייד מרכז זה בכל האמצעים הנדרשים לתפקודו כגוף מבצעי, לרבות כוח אדם מקצועי ותקציב ראוי. המבנה של המרכז הלאומי הנדרש למשימה זו אינו נכלל בהחלטת הממשלה 4738 (רעד/20) ויגובש במסגרת אחרת.

6.2 תפקידי המרכז הלאומי "נחשול נצפה"

כאמור, מרכז "נחשול נצפה" יעקוב אחר המבנה, נוהלי ההפעלה, דרכי הפעולה ונוסח ההודעות, כפי שהומלצו על ידי ועדת התיאום הבין-ממשלתית ICG/NEAMTWS למערכות ההתרעה הבינלאומיות בים התיכון ובאירופה, ויבצע את המטלות הבאות:

- א. איסוף, תיעוד ועיבוד המידע הסיסמי הנדרש להוצאת התרעה ראשונית לצונאמי במהירות האפשרית. יש לקבוע את מיקום ועומק מוקד הרעידה, המגניטודה וזמן האירוע.
- ב. חישוב זמני הגעה של הצונאמי לנקודות החיזוי הלאומיות, כולל עדכון מיקומן.
- ג. איסוף, תיעוד ועיבוד המידע הימי הנדרש לאישור או ביטול ההתרעה הראשונית לצונאמי.

6.3 דרישות הסף ממרכז "נחשול נצפה"

מרכז "נחשול נצפה" ישאף לעבוד באופן הבא:

- א. **במהירות**, על ידי הפצת ההתרעה מוקדם ככל האפשר מהרגע בו ייתכן ונוצר צונאמי.
- ב. **במדויק**, על ידי התרעה על כל האירועים הפוטנציאליים וצמצום התרעות שווא.

ג. **בזמינות ואמינות**, על ידי פעילות רציפה ומתמשכת לאורך זמן 24/7, תוך שהוא מוודא שהודעותיו מתקבלות במהירות אצל הנמענים והן מובנות במלואן.

6.4 ערוצי התקשורת להפצה וקליטת מסרים מספקי האזהרה באירופה של ICG/NEAMTWS

מרכזי האזהרה מצונאמי בים התיכון מקבלים באופן שוטף ובזמן אמת, 24/7 כל ימות השנה, דיווח מרשת סיסמוגרפים ורשת מדי מפלס ים, הן אלה המופעלות על ידן והן אלה של המדינות האחרות החברות ב-ICG/NEAMTWS. פריסת המרכזים המועמדים באירופה והאגנים המפוקחים על ידם מוצגת באיור 9.

עם קבלת אינדיקציה על רעידת אדמה במיקום ומגניטודה המסוגלים ליצור צונאמי, או חיווי של תנודות מפלס ים המעידות על אירוע צונאמי, מתקיימת במרכזים אלה הערכת מצב ומתקבלת החלטה האם להוציא התרעה מצונאמי פנימית לעצמן ואזהרה חיצונית למדינות אחרות שנרשמו אצלן, ומהו סוג האזהרה. במידה ומרכזי אזהרה הללו החליטו, כל אחד לפי שיקול דעתו העצמאית (ולאו דווקא החלטה זהה לכולם), על הוצאת אזהרה על צונאמי, הם יפיצו את מסרי האזהרה בארבעת ערוצי התקשורת הבאים לנמענים, כפי שנקבעו מראש:

א. באמצעות רשת התקשורת GTS של הארגון המטאורולוגי העולמי (WMO). זהו ערוץ התקשורת האמין והמהיר ביותר מבין הארבעה, ואולם נדרשת חברות בארגון המטאורולוגי העולמי כדי להימנות עליו. ערוץ GTS בישראל מצוי ברשות השרות המטאורולוגי (שמ"ט) בבית דגן בלבד. בשל חשיבותו של ערוץ זה מומלץ שהמסרים המתקבלים ברשת GTS בשמ"ט יועברו/יתקבלו ישירות לאגף הסיסמולוגיה במכון הגיאופיסי (למשל, בנלי"ן בין המתקנים).



איור 9: אזורי הכיסוי של מערכת ההתרעה בצפון מזרח האוקיאנוס האטלנטי, בים התיכון ובימים המקושרים אליהם (הים השחור, הים הבלטי). המועמדים כספקי התרעה מסומנים במעוין אדום, המועמדים העתידיים במשולש כתום. המרכז העתידי הישראלי מסומן בוורוד.

ב. באמצעות פקס. זהו ככל הנראה הערוץ השני באמינותו ומהירותו, ואולם יש לוודא שמכשיר הפקס פעיל ושמיש (מכיל נייר ודיו), פנוי תמיד לקבלת הודעות, והמסרים שמתקבלים בו מזוהים מיד.

ג. באמצעות דוא"ל. זהו ערוץ נפוץ ושימושי, אך המסרים המועברים דרכו עלולים להתעכב זמן רב בשרתי ממסר ביניים עד שיגיעו לתעודתם.

ד. מסרונים (SMS). זהו ערוץ חדש יחסית, זמין ונוח, אך הוא טרם נכנס לשימוש שוטף אצל חלק מהספקים, וגם בו ייתכנו עיכובים.

כדי לוודא שהנמענים בארץ מודעים בזמן אמת למסרים שנשלחו אליהם, יש ללוות את קבלת המסרים הללו בתעודתם בחיווי קולי. כמו כן, מומלץ במקרה של קבלת מסר אזהרה לאמת את הדיווח עם ספק האזהרה בטלפון.

בנוסף חשוב לציין שהאפשרות לקבל מסרי אזהרה ברשת ההתרעה של ICG/NEAMTWS מוגבלת למוסדות לאומיים רשמיים או ממשלתיים בלבד, ובתנאי שהם תאמו זאת מראש עם ספקי האזהרה של ICG/NEAMTWS.

6.5 קבלת מסרי האזהרה במרכז "נחשול נצפה"

הפעילות במדינת ישראל תחל מיד עם קבלת מסרי האזהרה הראשונים (הליך כמעט אוטומטי בשלב ראשון) ממרכזי האזהרה באירופה, על חשב להתרחשות אירוע צונאמי העלול לפגוע גם בחופי ישראל. ככל שאגף סיסמולוגיה במכון הגיאופיסי יעבד את המידע הנמצא ברשותו באופן עצמאי, יתכן והליך הכרזת ההתרעה יתחיל עוד קודם להגעת ההודעות מחו"ל. מסרי האזהרה יתקבלו בישראל בו זמנית, בשני מוקדים בלתי תלויים:

א. מרכז "נחשול נצפה" באגף סיסמולוגיה במכון הגיאופיסי.

ב. השרות המטאורולוגי (שמ"ט).

יאמר שוב: בשל החשיבות המיוחדת בקבלת המסרים מוקדם ככל האפשר, יש לוודא גיבוי ויתירות לאמצעי התקשורת הללו, לרבות חיווי קולי ברגע הגעתם. כמו כן יש להצליב את

המידע שיתקבל בזמן אמת בהתקשרות טלפונית בין שני הגורמים הללו ולהעבירו לרשימת תפוצה מוסכמת.

חשוב לציין שבמערך האזהרה המתואר לעיל, ישראל תלויה בגורמים חיצוניים. אזהרת הצונאמי תצא מאירופה לישראל רק במידה ולגורמים המזהירים יהיה הקשב הנדרש בעת חירום להוצאת האזהרה לישראל. לכן, לא מן הנמנע שייתכנו מצבי אמת בהם לא ניתן יהיה לסמוך על המערכת הבינלאומית להתרעה מוקדמת מצונאמי (פרוט נוסף בסעיף 4.2).

6.6 מסרי אזהרה מצונאמי ברשת הבינלאומית של ICG/NEAMTWS

העברת הודעות ומסרים בנושא צונאמי בין המדינות החברות בקבוצת התיאום הבין-ממשלתית (ICG) ל-NEAMTWS מתבצעת באנגלית, בהודעות בעלות מבנה ושפה משותפת ומילון מונחים אחידים (גרסה עברית למילון זה מופיעה בנספח ד' בסוף המסמך הנוכחי). ככלל, קיימת שאיפה שמסרי הצונאמי לסוגיהן יהיו דומים בצורתם ותוכנם בכל העולם, וזאת בכדי ליצור אחידות, לצמצם אי-הבנות ולמנוע בלבול ככל האפשר. המסרים מיועדים אך ורק לנציגי המוקדים הלאומיים להתרעה מצונאמי (TWFP), למרכזים הלאומיים להתרעה מצונאמי (NTWC), לאיש הקשר הלאומי לקבוצת התאום הבין-ממשלתית (TNC) ולגופים לאומיים נוספים לניהול בשעת חירום, כפי שהודיע מראש המקשר הלאומי לצונאמי של כל מדינה. תוכן המסרים מכיל את המידע הבסיסי הנדרש על-ידי מרכזים וגופים אלה. אם ישנה סכנה כלשהי באזורי החוף, המסרים הקשורים בכך נקראים **מסרי אזהרה מצונאמי**.

חשוב לציין שהאחריות על מתן התרעה מצונאמי נופלת על הגורם הלאומי הרשמי במדינתו ולא על ספק האזהרה הבינלאומי! ספקי האזהרה אומנם התחייבו לעשות ככל שביכולתם כדי לספק אזהרה באופן הטוב ביותר, אך הם אינם נושאים באחריות כלשהי לגבי מדינה אחרת מלבד מדינתם הם.

מסרי הצונאמי כוללים כבר בתחילתם שלושה תכנים עיקריים של המידע הנדרש על ידי סוכנויות הניהול לשעת חירום בדבר הסיכון: **דחיפות, חומרה, וודאות** (ראה טבלה 5).

המידע הנדרש ופרטים לגבי האזור המועד לפגיעה תוך ציון מפורש של רשימת המדינות הרלבנטיות (וכן אלה שביקשו לקבל מסרים גם אם הן מצויות מחוץ לתחום שמכוסה ע"י אותו ספק אזהרה), יופיעו מיד לאחר מכן. בדרך זו, השורות הראשונות של מסר האזהרה הצונאמי כבר מכילות את המידע הבסיסי והחיוני לנמען. פרטים נוספים לגבי הערכת האיום יופיע בהמשך המסר.

עבור כל אחת מקטגוריות המידע הדנות בדחיפות, חומרה וודאות האירוע, מוצעות שתי רמות סיכון כמפורט בטבלה הבאה :

טבלה 5 רמות הסיכון מצונאמי במסרי אזהרה מספקים בינלאומיים

קטגוריה	רמה I (גבוהה)	רמה II (נמוכה)
דחיפות (Urgency)	צונאמי עלול להגיע בתוך פחות משעתיים	צונאמי עלול להגיע בתוך יותר משעתיים
חומרה (Severity)	גובה הגל הצפוי בחוף מעל חצי מטר ו/או רום הצפה מרבי (run-up) ביבשה לגובה טופוגרפי של פחות ממטר מעל פני הים	גובה הגל הצפוי בחוף פחות מחצי מטר ו/או רום הצפה מרבי (run-up) ביבשה לגובה טופוגרפי של פחות ממטר מעל פני הים
ודאות (Certainty)	צונאמי אומת (confirmed) בעזרת מכשירי מדידה ימיים	אזהרה לצונאמי על בסיס מידע סיסמולוגי בלבד, צונאמי טרם אומת (not yet confirmed) בעזרת מכשירי מדידה ימיים

הצגה מקוצרת של טבלה 5 באמצעות מילות מפתח מוצגת בטבלה 6 :

טבלה 6 מילות מפתח להגדרת מידת הסיכון מצונאמי במסרי אזהרה מספקים בינלאומיים

קטגוריה	רמה I (גבוהה)	רמה II (נמוכה)
דחיפות (Urgency)	זמן הגעה מידי	זמן הגעה יותר משעתיים
חומרה (Severity)	אזהרה חמורה - Watch	אזהרה - Advisory
ודאות (Certainty)	אירוע מאומת	אירוע לא מאומת

לצורך פשטות הדיווח ובשל הקושי לקבוע את הדרגה המדויקת של חומרת האזהרה מצונאמי על פי רעידות אדמה בלבד, מצמצמים את תיאור החומרה של האירוע למינימום האפשרי ומגדירים שתי רמות אזהרה לצונאמי בלבד :

טבלה 7 סוגים של הודעות האזהרה מצונאמי (מעובד מתוך טבלה 4א')

סוג מסר	המאפיינים של גל הצונאמי	השפעה אפשרית על החוף
אזהרה חמורה Tsunami Watch	גובה גל צפוי בחוף מעל חצי מטר ו/או רום הצפה מרבי (run-up) ביבשה לגובה טופוגרפי של לפחות מטר מעל פני הים	כל הסממנים המאפיינים צונאמי, לרבות הצפה נרחבת לאורך החוף.
אזהרה Tsunami Advisory	גובה גל צפוי בחוף פחות מחצי מטר ו/או רום הצפה מרבי (run-up) ביבשה לגובה טופוגרפי של פחות ממטר מעל פני הים	צפויים זרמים, נחשולים, נסיגת ים, נזק בנמלים, הצפה מוגבלת לאורך החוף

מסרי אזהרה מצונאמי מלווים בהודעות עוקבות אשר מעדכנות את פרטי האירוע ורמת האיום בהתאם למידע שמצטבר, עד לסיומו. בנוסף לאזהרות, ישנם מסרים נוספים:

- א. 'שים לב' (information): מיידע את הנמענים על התרחשותה של רעידת אדמה גדולה באזור אבל עם הערכה כי לא קיים איום ממשי מצונאמי. מסר מסוג זה אמור להישלח גם במקרה של רעידת אדמה המורגשת בקרבת החוף, בכל מגניטודה, וזאת כדי למנוע אזהרת שווא ופינוי אוכלוסייה מיותר.
- ב. 'בדיקת קשר' (communication test): מסר המשודר בתאריכים ידועים מראש כדי לבדוק את התפעול השוטף של מרכיבי מערכת ההתרעה, לאתר ליקויים ולתקנם מבעוד מועד.

מסרים מסוג זה יהיו בודדים ולא יבואו בעקבותם מסרים נוספים.

6.7 תהליך העברת המסרים במדינת ישראל

6.7.1 תהליך ההתרעה מצונאמי מרעידת אדמה רחוקה מחופי ישראל

תהליך ההתרעה כולל אי וודאות ושיקולים מובנים שעשויים או עלולים להשפיע על מהות ההתרעה, ועל כן יש להתחשב בגורמים הבאים (וראה גם פרק 3.2):

- א. לא ניתן לקבוע בדיוק סביר את הפרמטרים של רעידות אדמה בעלות פוטנציאל ליצירת צונאמי בדקות הראשונות ולכן ניתוח האירוע והערכת הסכנה מתבססים על מידע ראשוני בלבד.

- ב. רק חלק מרעידות האדמה בעלות פוטנציאל לצונאמי לכאורה, אכן יוצרות צונאמי.
- ג. בטכנולוגיה הקיימת ופועלת כיום במזרח הים התיכון לא ניתן לדעת אם צונאמי אכן נוצר בעקבות רעידת אדמה ומה היא עוצמתו, אלא כאשר הוא כבר הגיע לחוף.
- ד. בדומה לרעידות אדמה, גם גלי הצונאמי אינם אחידים בגודלם ובפוטנציאל ההרס שלהם. מאחר ומסר האזהרה שמתקבל מחו"ל לאירוע צונאמי מספק מידע כללי בלבד, לא ניתן להעריך את הנזק הצפוי בזמן אמת.
- ה. פוטנציאל הנזק תלוי גם במועדי הים, עונות השנה והיוממות, כך שתוצאותיו של אירוע בליל חורף סוער שונות בתכלית מתוצאותיו של אירוע במהלך חופשת הקיץ.
- ו. מחירה של הימנעות מהתרעה מצונאמי עלול להיות בלתי נסבל ברמה הלאומית, וזאת בשל פוטנציאל הנזק העצום של גורם זה.
- ז. המענה המידי להתרעה מצונאמי כרוך בפינוי מידי של האוכלוסייה הנמצאת באזור החופי המועד להצפה ובפעולות חירום במתקני תשתית באותו אזור. התרעה שווא עלולה לשבש את שגרת חיי האוכלוסייה ולגרום לנזק ולהפסדים כלכליים כבדים, ובהמשך אף לאובדן אמון במערכת ההתרעה.
- בהינתן מכלול השיקולים הללו, בשל אי הוודאות ובפרט מחירה של טעות בהתרעה, הועדה ממליצה לנקוט בגישה מדורגת בעלת שני שלבים במתן ההתרעה לצונאמי מרעידת אדמה רחוקה¹⁰ לאוכלוסייה האזרחית ולתשתיות הלאומיות באזור המועד באופן הבא:
- במידה ובמרכז "נחשול נצפה" גובשה החלטה שקיימת סבירות גבוהה לאירוע צונאמי בישראל על פי קריטריונים וטבלת החלטה שייקבעו מראש, יועבר הדיווח להתייעצות עם צוות "מגדלור", והוא אשר יחליט וכריע על אופי ההתרעה: "היכון", "הפעל", "ביטול היכון/הפעל", ו- "חזרה לשגרה". ההחלטה תועבר למרכזי ההפעלה האופרטיביים הפועלים 24/7 ומשם, בהתאם לצורך.**
- במידה ובמרכז "נחשול נצפה" התברר בוודאות שצונאמי גדול אכן נוצר על פי קריטריונים וטבלת החלטה שנקבעו מראש, ואולי גם מידע נוסף, יתריע מרכז "נחשול**

¹⁰ תהליך מתן התרעה מצונאמי לאחר רעידת אדמה קרובה יידון במסגרת אחרת

נצפה" ישירות ומיידית למרכזי ההפעלה האופרטיביים, תוך שהוא מעדכן את צוות "מגדלור".

הניסיון מלמד שלא תמיד ניתן לחזות מראש את כל מצבי הביניים האפשריים ועל כן יש להניח שבדרך כלל תידרש החלטה מושכלת של מרכז "נחשול נצפה" ושל צוות "מגדלור" באשר לרמת ההתרעה הנדרשת.

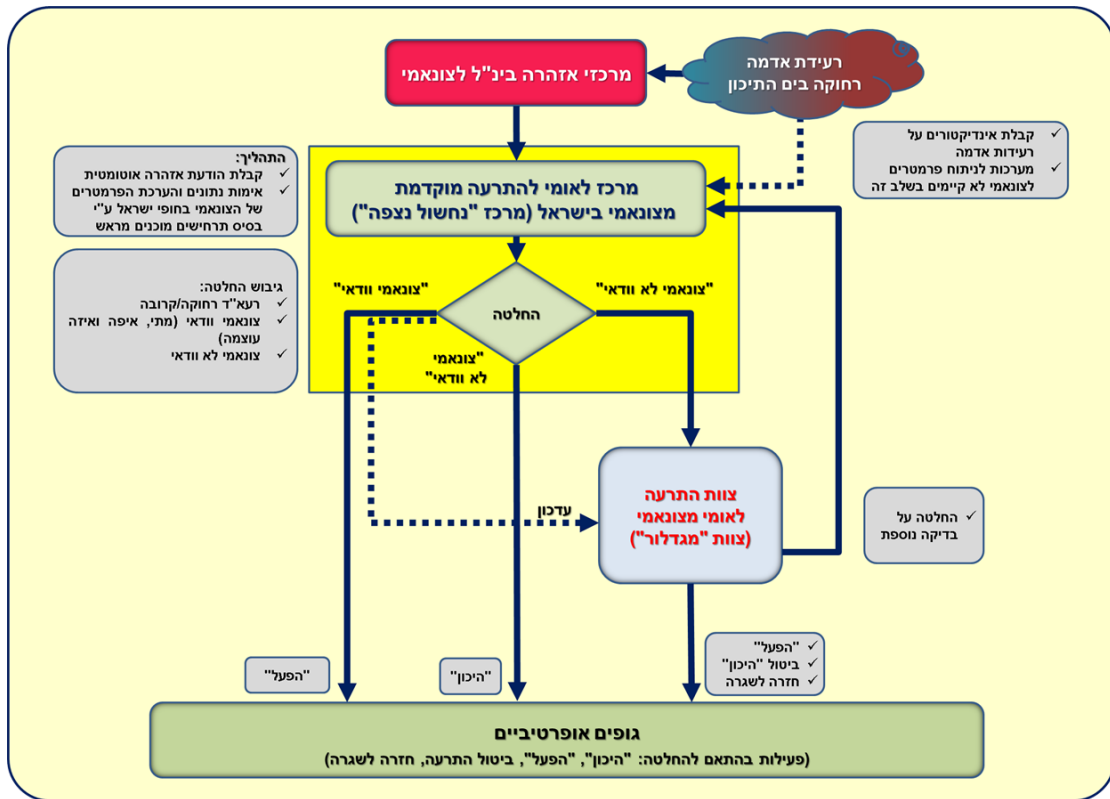
6.7.2 מצבים מוגדרים להתרעה על אירוע צונאמי

מצב ראשון - התרעת "היכון": התרעה זו תופץ כאשר קיימת סבירות מסוימת לצונאמי (כפי שתוגדר מראש בטבלת ההחלטות) ומטרתה להעלות את רמת המוכנות בגופים האופרטיביים ובתשתיות הלאומיות הפרוסות לאורך החופים המועדים להצפה בישראל. שלב זה נועד לקצר לוחות זמנים במידה ויוחלט בהמשך על "הפעל". **בשלב זה אין עדיין התרעת צונאמי לאוכלוסייה ולגופי תשתית לאומיים.**

מצב שני – "הפעל": התרעה זו תופץ לכלל הגורמים האופרטיביים 24/7 במדינה כאשר קיימת סבירות גבוהה או וודאות לאירוע צונאמי בחופי ישראל, בהתאם לקריטריונים שנקבעו מראש ובהסתמך על חוות הדעת של מרכז "נחשול נצפה". במצבי ביניים שלא ניתן לקבל החלטה חד משמעית - הסמכות לקבלת ההחלטה מוטלת על הנציג ממערך החירום, המשתיך לצוות "מגדלור".

מצב שלישי – "ביטול היכון/הפעל", או "חזרה לשגרה": כאשר מתברר שלא נוצר אירוע צונאמי יש להוציא הודעות "ביטול היכון" או "ביטול הפעל", בהתאם. במידה ונוצר אירוע, הרי שיש להודיע על סיומו ועל "חזרה לשגרה".

זרימת המידע בתהליך ההתרעה מצונאמי מ"קצה לקצה" מתוארת באופן סכמתי באיור הבא ובטבלה שלאחריו:



איור 10: מבנה מוצע למערך "מים אדירים" ותהליך העברת מסרי התרעה מקצה לקצה

6.7.3 הפעלת התרעה לאומית/אזורית

הפעלת ההתרעה, עדכונה וביטולה, יעשו על פי נוהל שיבנה במקביל להקמת המערכת. הנוהל יידרש להתייחס למצבים הבאים:

א. הפצת התרעת צונאמי - בערוצי התקשורת כפי שייקבעו מראש, לדוגמא:

- (1) דיווח מתפרץ במדיה התקשורתית (רדיו, טלוויזיה, כבלים).
- (2) דיווח ברשתות חברתיות, אינטרנט וכדומה.
- (3) SMS לאוכלוסייה.
- (4) FAX לכל המרכזים שיוגדרו.
- (5) דיווח לאיתוריות של ממלאי תפקידים המנויים על "התרעת צונאמי".
- (6) הפעלת סירנות / רמקולים בסוכות מצילים שבחופים.

ב. **החלטה על ביטול התרעת צונאמי** - במקרה זה כל החמ"לים מעדכנים רוחבית את כל ממלאי התפקידים על החלטת הצוות; ובמקביל יוצא דיווח באמצעי התקשורת להרגעת האוכלוסייה.

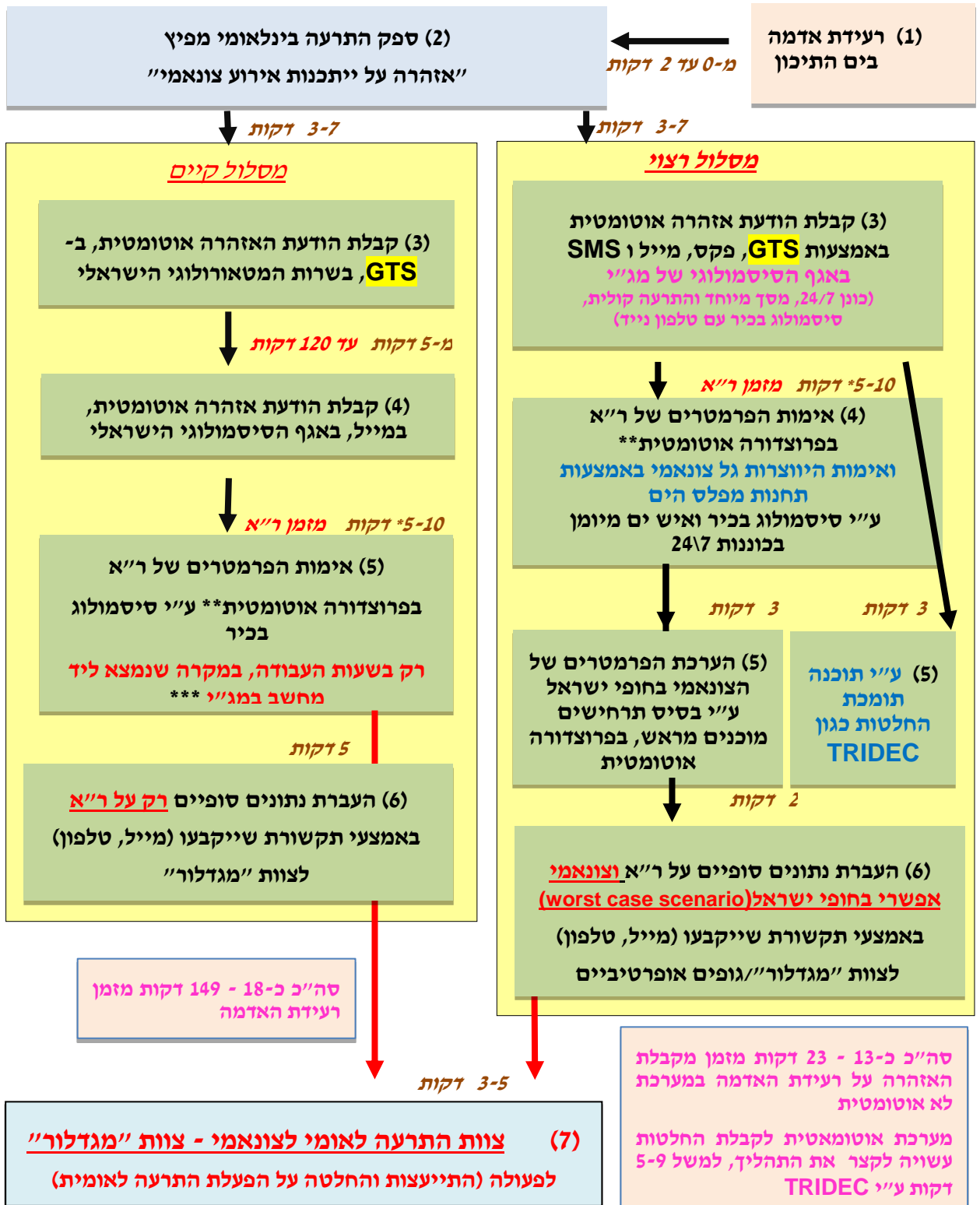
ג. **עדכון רמת ההתרעה** – תוך כדי האירוע ייתכן ויתקבלו נתונים או מידע נוסף אשר בעקבותיו יידרש לעדכן את רמת החומרה של האירוע כלפי מעלה או מטה, בהתאם לצורך.

6.8 עץ החלטות למתן התרעה מוקדמת מצונאמי בישראל על בסיס מסרים מספקי האזהרה הבינלאומיים

קבלת החלטות במרכז "נחשול נצפה" אמורה להתבצע בתהליך בו נבחנים הפרמטרים של רעידת האדמה (מוקד ומרחק מישראל, מגניטודה, מנגנון מכאני, עומק), הפרמטרים של הצונאמי הצפוי (זמן הגעה לחוף, גובה הצפה מרבי, מרחק הצפה וזמן מחזור), תוכן המסר שאמור להתקבל מספקי האזהרה הבינלאומיים מצונאמי, וכל פרמטר או גורם אחר שיכול להשפיע על ההחלטה, כגון: מצב מועדי הים ומפלס הים, תחזית עוצמת וכיוון הרוחות, תחזית מצב הים (גלים) ואומדן הערמות גלים בחוף, תחזית ממטרים והצפות.

קבלת ההחלטה הינה תהליך מושכל מאחר והמידע הסיסמולוגי הראשוני מוגבל ואינו חד משמעי, וגם משום שאין וודאות שאכן נוצר גל צונאמי. הפצה של התרעת שווא כרוכה בעלויות לא מבוטלות, והתרעות שווא תכופות עלולות לגרום לחוסר אמון מצד הציבור במערכת. על כן הכרחי לאמת את ההשערה שצונאמי אכן נוצר, למשל, בעזרת תחנות מפלס הים המשדרות את המידע המדוד בזמן אמת (כל דקה); תחנות מדי לחץ בקרקעית הים כדוגמת מערכת DART או תחנות מצופי GPS משולבות במדידות מטאו-ימיות של גלים, רוח, זרם; רשת של מספר תחנות מכ"מ בתדר גבוה, המספקת עדכון כל 3 דקות ואשר מסוגלת לזהות היווצרות צונאמי מגלישות קרקע במדרון היבשת. תהליך קבלת ההחלטות, כולל השלבים והפעולות הנדרשים לאורכו, מוצג באיור 11 להלן. המצב הקיים, מלווה בסרגל זמנים כפי שהוא מתנהל כיום, מתואר בצד שמאל ואילו המצב הרצוי, כולל סרגל הזמנים כיעד להשגה, מוצג בצד ימין.

איור 11: עץ החלטות של מרכז "נחשול נצפה" בתהליך ההתרעה מצונאמי (אגף סיסמולוגיה, המכון הגיאופיסי לישראל)



* תלוי בגרסה של הפרוצדורה האוטומטית: זמן אמת (כ-5 ד') או טריגר (יותר מדויקת, כ-10 ד')

** הדיוק ברעידת אדמה רחוקות בים התיכון: כ-20 ק"מ באיכון, וכ-0.3 במגניטודה

*** אין היום כונן 24\7 מיומן באגף לסיסמולוגיה שמבין בהתרעה לצונאמי

6.8.1 לוח זמנים לקבלת החלטות באירוע צונאמי מרחוק

כדי שתהליך ההתרעה יפעל במהירות המרבית, תוך התחשבות בקצב האירועים הטבעי (התפשטות הגלים הסיסמיים והתפשטות גלי הצונאמי במרחב) ובקצב הקליטה ועיבוד המידע על ידי מרכזי האזהרה, מוצע להלן סרגל זמנים לטיפול באירוע. הסרגל מאפשר לראות את הזמן הרץ מתחילת האירוע ומולו את קצב התנהלות תהליך קבלת ההחלטות ומתן ההתרעה. הסרגל המוצע להלן הינו יעד ראשוני להשגה, ובהמשך יידרש לייעל ולקצר אותו עוד ככל האפשר. ספרור השלבים המוצג בטבלה 8 שלהלן עוקב אחר השלבים בעץ ההחלטות המוצג באיור 11 לעיל.

טבלה 8 סרגל זמנים לטיפול באירוע צונאמי מרחוק – מצב רצוי

שלב	זמן רץ (דק')	זמן לתהליך (דק')	פעולה	הערות
0	-	-	הכנות והיערכות, בנק תרחישים וכד'	
1	0	0	רעידת אדמה מחוללת צונאמי	הספירה מתחילה
	2	עד 2	מידע ראשוני מגיע לסיסמוגרפים מקומיים	
2	5 - 9	3 - 7	המידע מעובד אצל ספקי האזהרה הבינלאומיים ומופץ לנמענים	
3 - 4	10 - 19	5 - 10	המידע מתקבל בארץ, מעובד ומאומת באופן ראשוני על בסיס מידע מהרשת הסיסמית המקומית בפרוצדורה אוטומטית	מערכת קבלת החלטות (כדוגמת TRIDEC) עשויה לקצר את התהליך באופן משמעותי
5	13 - 22	3	המידע נבדק מול בנק התרחישים, ונקבעת המלצת מרכז "נחשול נצפה"	
6	15 - 24	2	המלצת מרכז "נחשול נצפה" מועברת לצוות "מגדלור" ו/או החלטה ישירה לגופים האופרטיביים	
7	18 - 29	3 - 5	הגופים האופרטיביים מורידים התרעה לשטח	

הטיפול באירוע מקומי, במהלכו לא יתקבלו מסרי אזהרה ממקורות חיצוניים, יתנהל בקבועי זמן אחרים, וזאת משום שהצונאמי צפוי להגיע לחופי ישראל דקות ספורות לאחר הרעידה ולא נותר זמן מספק להוצאת התרעה לגופים האופרטיביים, לאוכלוסייה ולתשתיות. הערכה ראשונית בדבר סרגל הזמנים לאירוע מסוג זה מוצגת בטבלה 9 שלהלן.

יחד עם זאת, מאחר והרעידה תורגש היטב בכל רחבי הארץ, ניתן יהיה להיעזר בזעזועי הקרקע החזקים כהתרעה ראשונית (למשל, להתייחס לרעידה כאל מצב "היכון") ולייעל את התהליך. מערכת לזיהוי גלי צונאמי בים, לדוגמא רשת מכ"מים בתדר גבוה, תאפשר לזהות ולאמת היווצרות צונאמי באופן מידי (עדכון אחת ל- 3 דקות), לקצר עוד את התהליך ואולי אף להותיר דקות ספורות למתן התרעה, בעיקר במקומות בהם מדף היבשת (מהחוף ועד קו עומק מים של 100 מטרים) רחב יחסית. במקומות הצרים, למשל מול קניון אכזיב או עתלית, ההתרעה עלולה להגיע לאחר שהגל הראשון כבר הגיע לחוף. בהתחשב בגורמים אלה יהיה צורך לעדכן את סרגל הזמנים המוצג להלן.

טבלה 9 סרגל זמנים לטיפול באירוע צונאמי מקומי – מצב רצוי

שלב	זמן רץ ('דק')	זמן לתהליך ('דק')	פעולה	הערות
0			הכנות והיערכות, בנק תרחישים וכד'	
1	0	0	רעידת אדמה מחוללת גלישת קרקע שמחוללת צונאמי	הספירה מתחילה
2	1	1	מידע ראשוני מגיע לסיסמוגרפים בישראל	הרעידה יכולה לשמש כהתרעה, מערכת לזיהוי צונאמי בים תאמת את ההתרעה ותקצר את הלו"ז
3	4	3	הערכה ראשונית של מיקום ומגניטודה ע"י רשת סיסמית מקומית בפרוצדורה אוטומטית	
4	7	3	קבלת החלטות במרכז "נחשול נצפה"	
5	9	2	המלצת מרכז "נחשול נצפה" מועברת לצוות "מגדלור" ו/או החלטה ישירה לגופים האופרטיביים	
6	12-14	3-5	הגופים האופרטיביים מורידים אזהרה לשטח	

6.9 תרגול שוטף

על מנת לשמור על רמת המוכנות והכשירות המבצעית, לזהות כשלים ותקלות מבעוד מועד ולשפר את ביצועי המערכת, יש לקיים תרגול שוטף של כל הגורמים המעורבים בהפעלת מרכז "נחשול נצפה" ושאר מרכיבי המערכת, כולל צוות "מגדלור", הגופים האופרטיביים,

משרדי ממשלה, תשתיות ייעודיות ורשויות מקומיות. כמו כן, על המרכז להשתתף בתרגילי התקשורת החודשיים ובתרגילי הצונאמי השנתיים של ICG/NEAMTWS.

6.10 אספקת נתונים של מערכות הניטור הסיסמי ומפלס הים בזמן אמת לספקי האזהרה מצונאמי במערכת ICG/NEAMTWS

על מנת להמשיך לקבל אזהרות מהמערכת הבינלאומית ומספקי האזהרה הבינלאומיים, כל מדינה נדרשת לספק נתונים בזמן אמת של התחנות הסיסמיות ושל תחנות ניטור מפלס הים הנמצאים ברשותה. יש לוודא כי מערכות ניטור אלה מכסות כראוי את השטח שבאחריותן, על פי הדרישות שהגדיר ה-ICG/NEAMTWS. בהתאם לכך, על המדינה לדאוג להבטיח המשך הפעלה ותחזוקה של תחנות הניטור הללו על ידי הגופים המתפעלים.

6.11 השתתפות בפעילות ICG/NEAMTWS

יש לדאוג להשתתפות נציגים ממרכז "נחשול נצפה" וצוות "מגדלור", ומהגופים האופרטיביים (משהב"ט – רח"ל, פקע"ר, מ"י) כמו גם מהגופים המספקים את נתוני מפלס הים בזמן אמת (חיא"ל), הסיסמולוגיה (מג"י), והמידע הגיאולוגי-טקטוני (מג"ל), במפגשי המליאה השנתיים, בפעילות קבוצת העבודה המקצועיות ובמפגשי הביניים של ICG/NEAMTWS.

6.12 התרעה מצונאמי בישראל - תמונת מצב נוכחית והצורך בהחלטת ממשלה

המצב הקיים בישראל נכון למועד פרסום הדוח הנוכחי, הינו פתרון זמני, אד-הוק, שנקבע על ידי יו"ר ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות לרעידות אדמה, עד אשר תוקם מערכת התרעה מסודרת. תהליך קליטת מסרי האזהרה מהמרכזים הבינלאומיים, ניתוח המידע והוצאת התרעה על פי הצורך, כפי שמתקיים היום, הינו פשטני, אוטומטי, ללא שיקול דעת מקצועי, ללא גיבוי, וללא שרידות. סרגל הזמנים של תהליך זה מתואר באיור 11 בצד השמאלי.

אי לכך, הקמת מרכז "נחשול נצפה" בישראל חייבת להתבצע במהירות האפשרית, על בסיס העקרונות שהוצגו בפרק 5 לעיל, ובהתאם לדרישות, נהלים ושיטות עבודה המוצגים

לאחר מכן בפרק 6. על מנת להתחשב במצב ובאילוצים הנוכחיים, הועדה מציעה שהתהליך יקודם בשני שלבים, כפי שתואר בסעיף 6.1 לעיל.

כדי לממש את ההקמה של מערך "מים אדירים" כפי שכבר הוחלט על ידי הממשלה (החלטה מס' 4738, רעד/20), מוצע לקדם הקמתם של מרכיבי המערכת בדמות מרכז "נחשול נצפה" וצוות "מגדלור" במסגרת החלטת ממשלה נוספת אשר תתקף את המלצות הועדה הנוכחית ותגבה את ההקמה בתקציב הנדרש לכך. משהב"ט – רח"ל בשיתוף ועדת ההיגוי והמינהל למחקר מדעי האדמה והים כינו את נוסח הצעת ההחלטה והתקציב הנדרש ויקדמו אותה.

7 הקמת צוות התרעה לאומי לאירוע צונאמי - צוות "מגדלור"

במקביל להכרזה על מרכז "נחשול נצפה" (פרק 4 לעיל), יוקם צוות התרעה לאומי - צוות אופרטיבי (יקרא צוות "מגדלור") אשר יחליט על אופי ההתרעה הנדרשת, יפיץ אותה לגופים האופרטיביים וינחה אותם לפעולה. מתן תוקף להקמת צוות "מגדלור" יעשה במסגרת החלטת המשך להחלטה קודמת של הממשלה (מס' 4738, רעד/20) על הקמתו של מערך "מים אדירים", כפי שצוין בפרק הקודם בנוגע למרכז "נחשול נצפה".

צוות "מגדלור" יכלול את ממלאי התפקידים הבאים: יו"ר ועדת ההיגוי לרעא"ד; ראש רח"ל במשהב"ט; ראש אגף תאום היערכות לחרום; רח"ט תורה, הדרכה ותרגילים; ומנהל מוסד מחקר ממשלתי בתחום מדעי האדמה והים כפי שייקבע על ידי מנהל מינהל המחקר למדעי האדמה והים. המידע יופץ במקביל גם לידיעת המזכירים הצבאיים של רוח"מ, שהב"ט; מפכ"ל מ"י; והשר לבט"פ.

במשמרת מבצעית יכלול צוות "מגדלור" לפחות שני ממלאי תפקידים באופן הבא:

א. **נציג מדעי:** יו"ר ועדת ההיגוי לרעא"ד¹¹, ובהיעדרו מנהל מוסד מחקר ממשלתי בתחום מדעי האדמה והים כפי שייקבע על ידי מנהל מינהל המחקר למדעי האדמה והים (למשל, מנהל המינהל, מנהל המכון הגיאולוגי - מג"ל, מנהל המכון הגיאופיסי - מג"י, מנהל חקר ימים ואגמים - חיא"ל, מנהל אגף סיסמולוגיה במג"י) ..

¹¹ במידה והינו איש מדע

- ב. **נציג ממערך החירום הלאומי במשהב"ט – רח"ל**: ראש רח"ל, בהיעדרו – ראש אגף תיאום והיערכות לחירום, ובהיעדרו – רח"ט תורה, הדרכה ותרגילים.
- הקמת צוות "מגדלור" ואפיון דרכי הפעלתו יגובשו בעבודת צוות היגוי בין משרדי להיערכות מדינת ישראל והתמודדותה עם אירוע צונאמי, במסגרת משהב"ט – רח"ל. עקרונות עבודת הצוות יתבססו על המרכיבים הבאים:
- א. בנייה של תורת ההפעלה הפנים ארצית.
- ב. הגדרת התהליכים, הדרכים והאמצעים לבניית כשירות צוות "מגדלור".
- ג. הכשרת ממלאי תפקידים בכירים לשמש בעלי הידע והסמכות להחלטה על התרעה לצונאמי.
- ד. הגדרת האמצעים לשמירת הכשירות של ממלאי התפקידים, כולל גרף אימונים שנתי וגרף ביקורת כשירות מבצעית.
- ה. השתתפות בתרגילים בינלאומיים ובניית מנגנון להעברת ידע ותו"ל עם גופים אופרטיביים דומים בעולם, בדגש על מרכזי התרעה במזרח התיכון.

8 המלצות אופרטיביות – מכאן ולאן

לאור פערי הידע והיעדרה של מערכת מדעית ואופרטיבית להתרעה מצונאמי בישראל כפי שהתבררו במסגרת העבודה נוכחית, מוצע לקדם הקמתה של יכולת לאומית להתרעה מוקדמת מצונאמי בישראל ובמקביל להרחיב את ההבנה והמודעות בנושא סיכוני צונאמי, תוך הקצאת המשאבים הדרושה, בשני אפיקים, האחד בדחיפות מידית והשני בביצוע מתמשך.

8.1 המלצות לביצוע מידי

יש לקדם באופן מידי הקמה, או הכרזה על מקום קיים, של שני המרכיבים במערך ההתרעה "מים אדירים": מרכז "נחשול נצפה" וצוות "מגדלור". שני הגופים הללו ינהלו את ההתרעה מצונאמי בישראל, "מקצה לקצה" באופן הבא:

- א. **הקמת מרכז "נחשול נצפה"**: אשר יתבסס על ניטור ועיבוד מידע סיסמי ומידע ימי בישראל וסביבתה ויהיה בעל יכולת קבלת החלטות עצמית ועצמאית ובלתי תלויה

במקורות ובגופים חיצוניים (ראה פרק 4). במקביל, יקיים מרכז "נחשול נצפה" קשר שוטף עם המרכזים הלאומיים האחרים באירופה, יקבל מהם מסרי אזהרה ויפעל בהתאם על פי הצורך (ראה פרק 5). המרכז יתבסס על שני המודולים הבאים:

1. התרעה בעקבות רעידות אדמה חזקות תת-ימיות במזרח הים התיכון. בשלב ראשון תסתמך ההתרעה על קבלת מסרים ממערכות ICG/NEAMTWS הבינלאומיות באירופה; במידה ויותקנו מערכות ניטור עצמאיות בישראל הן תשולבנה ברשת הדיווח העולמית.

2. התרעה בעקבות רעידות אדמה חזקות מקומיות ורחוקות על בסיס יכולת עצמאית.

כשלב ראשון בהליך ההקמה של המרכז יידרש לבצע בדיקת היתכנות של האמצעים והטכנולוגיה הנדרשים להפעלתו, לרבות אומדן עלויות ולוח זמנים. ממצאי הבדיקה ישמשו בסיס להחלטה על מימון והקמת המערכת בפועל.

חשוב לציין שהועדה הנוכחית התמקדה במודול הראשון שתואר לעיל, ולצורך ניסוח המטרות ותכנון המרכז כפי שמוצג במודול השני תידרש בוודאי עבודה נוספת.

ב. **הקמה ומינוי צוות "מגדלור"**. הצוות יכלול ממלאי תפקידים בכירים ממשב"ט – רח"ל, ועדת ההיגוי לרעידות אדמה ומדען מתחום מדעי האדמה והים (למשל, סיסמולוג בעל הכשרה בסיסית להבין מידע אוקיאנוגרפי) שיוכלו להתייעץ ולקבל החלטה מושכלת על ההסתברות להתרחשות צונאמי בחופי ישראל, כולל במצבים בהם קיים ספק ולא ניתן להצביע בצורה חד משמעית על אירוע צונאמי וודאי בחופי ישראל. את המידע לתהליך קבלת ההחלטות יקבל הצוות ממרכז "נחשול נצפה" ובהתאם להחלטתו תועבר ההנחיה המתאימה לביצוע לגופים האופרטיביים. ממלאי התפקידים שיוגדרו ויקבלו מינוי רשמי לתפקיד זה יהיו:

(1) **אחד מנושאי התפקידים הבכירים במשב"ט – רח"ל**: ראש רח"ל, בהיעדרו ראש אגף תאום היערכות לחרום, בהיעדרו רח"ט תורה, הדרכה ותרגילים.

2) **אחד מנושאי התפקידים הבכירים המדעיים הבאים:** יו"ר ועדת ההיגוי להיערכות מדינת ישראל לרעידות אדמה¹², ובהיעדרו מנהל מוסד מחקר ממשלתי בתחום מדעי האדמה והים כפי שייקבע על ידי מנהל מינהל המחקר למדעי האדמה והים.

3) **שותפים נוספים** בצוות, לידיעה במקביל ובזמן אמת, יהיו המזכירים הצבאיים של רוה"מ, שהב"ט, מפכ"ל מ"י, והשר לבט"פ.

ההחלטה הסופית על הפעולה שתינקט – הינה באחריות ראש צוות "מגדלור" או ממלא מקומו. צוות "מגדלור" יהיה כונן 24/7, ולא יידרש לשהות במקום מוגדר.

ג. **גיבוש תורת המענה לצונאמי בישראל.** יש להשלים עבודתו של צוות ההיגוי הבין משרדי לכתובת תכנית לאומית להיערכות מדינת ישראל והתמודדותה עם אירוע צונאמי שהוקם במסגרת משהב"ט – רח"ל.

ד. **קליטה והטמעת מערכת לגילוי צונאמי בים** כדי לצמצם את אי הוודאות הרבה הכרוכה בהתרעה המבוססת על רעידות אדמה בלבד ולזהות אירועי צונאמי שמקורם ברעידות אדמה, גלישות תת-ימיות, ואף אירועים ספונטניים ללא רעידות אדמה. המענה הנדרש הינו מערכת התרעה מקומית ישראלית, בעלת יכולת עצמאית לניטור סיסמי ואמצעים ייעודיים לגילוי ואימות היווצרות צונאמי בים. מומלץ לקדם שיתוף פעולה בינלאומי בנושא זה.

ה. **קביעה של מסגרת כמותית להיערכות מדינת ישראל לצונאמי** תגדיר בפני הרשויות המקומיות והתשתיות הלאומיות מהו האירוע שאליו הם צריכים להיערך. משרדי הממשלה יידרשו לנתח את ההשפעה והנזקים האפשריים של אירוע זה בתחום אחריותם. יש להשלים הרצת התרחישים עליהם תתבסס מסגרת זו (באחריות חי"א"ל ומג"ל) ולהעריך את הנזק הצפוי מהם.

ו. **הצעת מחליטים של ממשלת ישראל:** יש לגבות את ההקמה של שני מרכיבי המערך להתרעה מוקדמת מצונאמי בישראל "מים אדירים": מרכז "נחשול נצפה" וצוות

¹² במידה והינו איש מדע

"מגדלור", באמצעות החלטת המשך להחלטת הממשלה הקודמת מס' 4738 (רעד/20) בנושא זה, והקצאת התקציב הנדרש להקמתם ותפעולם השוטף. רשות החירום הלאומית (רח"ל במשהב"ט) בשיתוף ועדת ההיגוי והמינהל למחקר מדעי האדמה והים כינו את נוסח הצעת ההחלטה ויקדמו אותה.

8.2 תכנית לקידום הידע בתחום הצונאמי בישראל

א. **הקמת מרכז ידע מדעי-יישומי בנושא צונאמי** אשר יגדיר את הצרכים הנדרשים ואת כיווני המחקר היישומי בצונאמי בישראל במטרה למזער את הסיכון הפוטנציאלי. פעילויות פרטניות של מרכז ידע זה צריכות להיות:

1. קידום מחקרי תשתית ופיתוח (למשל, במסגרת קול קורא) תוך שיתוף כל גופי המחקר הלאומיים בישראל

2. ריכוז הידע והניסיון הנצברים בעולם ע"י שיתופי פעולה עם גופים ממלכתיים העוסקים בצונאמי, כנסים מקצועיים כולל של ICG/NEAMTWS

3. הקצאת מישרה ייעודית במוסדות המחקר הלאומיים.

4. מימון סטודנטים לתארים מתקדמים בנושאים מועדפים בתחומים אלה.

5. טיוב הקשרים המבצעיים עם מרכזי ההתרעה בחו"ל.

6. הזמנת ייעוץ ועבודות מיועצים מומחים בארץ ובחו"ל. אלה תלויים אומנם בתקציב ייעודי, אך יישאו פירות בתחום הכרת מנגנון יצירת הצונאמי ומאפייניו ובכך ישפרו את יכולת הזיהוי, ההיערכות והמענה, ויצמצמו את האפשרות להתרעות שווא.

7. שדרוג יכולות הדמיה של אירועי צונאמי ממקורות שונים על בסיס מערכת מחשוב, תוכנות ואמצעי הדמיה עדכניים.

8. תחזוקה ועדכון שוטף של בסיס מידע בתימטרי וטופוגרפי ברזולוציה גבוהה לצורך הדמיות צונאמי וקביעת קריטריונים לתכן בניה עמידה בצונאמי.

בטוח הקצר שלאחר הקמתו, מרכז הידע יידרש לתמוך בשדרוג מפות האזורים המועדים להצפה מצונאמי בישראל, כמו גם הערכת הזרמים, הכוחות והמומנטים

שיפעלו על מבני תשתית בים ובחוף. עוד יידרש המרכז להרחיב את בסיס הידע הנדרש לניסוח תקני בניה עמידה לצונאמי ולהגדיר את האזורים בהם יש לאמץ תקינה זאת.

המיקום הראוי של מרכז זה הינו במסגרת מכוני המחקר הממשלתיים של מדעי האדמה והים בישראל.

ב. **הקמת בנק תרחישי צונאמי** ויכולת חיפוש ושליפה ממוחשבת מהירה של המידע לצורך תמיכה בקבלת החלטה מושכלת על התרעה מצונאמי. מאחר והרצת תרחישים מדויקים ואמינים בזמן אמת אורכת זמן רב, הרבה מעבר לזמן הנדרש להגעת הצונאמי לחופי ישראל, יש להכין מראש בנק תרחישים הכולל מגוון מייצג של כל האירועים האופייניים והוא יהווה מידע תומך למקבלי ההחלטות בזמן אמת. מידע זה ישמש גם להיערכות מקדימה לצונאמי, הכנת מפות סיכון, וכד'.

ג. **עתודות כוח אדם מקצועי** – קיים מחסור משמעותי בכוח אדם מקצועי ויש להכשיר ולהרחיב את מעגל ממלאי התפקידים הנדרשים במרכז "נחשול נצפה". למשל, כוח האדם המקצועי באגף לסיסמולוגיה מתמחה ברעידות אדמה בלבד, היקפו מצומצם וגילו הממוצע גבוה.

ד. **חינוך, הדרכה ומודעות לסכנה מצונאמי** בציבור הרחב ישפרו את המענה ברמת הפרט ובסופו של דבר יחסכו בחיי אדם. בהעדר מערכת להתרעה מוקדמת ומאחר ומרבית אירועי הצונאמי הצפויים בישראל יגיעו לאחר רעידת אדמה מקומית חזקה בתוך דקות ספורות, יש ללמד את הציבור כי תנודות קרקע חזקות הן סימן מקדים לצונאמי. גם נסיגה חריפה של הים תהווה סימן מקדים אך לא הכרחי. יש להטמיע הנושא במסגרת תכניות של משרד החינוך ומוסדות אחרים, וכן במדיה התקשורתית לסוגיה (נספח ה').

ה. **קבלת ייעוץ, הדרכה ותמיכה מגורמים בינלאומיים** לצורך תיאום בין מרכזי ההתרעה הישראלי והבינלאומיים, עמידה בסטנדרטים מקובלים בעולם והעשרת הניסיון המקצועי והמבצעי בארץ, לדוגמא:

- (1) השתתפות במסגרות בינלאומיות העוסקות בהקמת מערכת התרעה לצונאמי ICG/NEAMTWS ו-PPRD South, בפרט נציגים מהמענה האופרטיבי.
- (2) אירוח משלחת של מקבלי החלטות וצוות תפעול של מערכות התרעה לאומיות המשמשים גם כספקי אזהרה מצונאמי, ושל גופי הגנה אזרחית להתמודדות במצבי חרום (PPRD South ו-JRC באיטליה, GFZ בפוטסדאם, גרמניה).
- (3) קבלת ייעוץ מקצועי ובקרה מהארגון הבינלאומי ICG/NEAMTWS, לרבות ביקור של וועדת הערכה של מומחים מטעמו בישראל.
- (4) אירוח כנסים בינלאומיים (כגון, ICG/NEAMTWS ; PPRD South) בישראל.
- (5) בחינת מערכת לניהול מצבי חירום בצונאמי כדוגמת TRIDEC, TAT, או דומה לה והטמעתה בישראל בהתאם לצורך.
- (6) השתתפות בתרגיל הצונאמי הבינלאומי הצפוי לקראת סוף 2014, NEAMWAVE14.

ו. הזמנת מומחים בינלאומיים בעלי ניסיון מוכח בתחומים כדוגמת:

- (1) ניסיון ומעורבות בהקמה, ניהול והפעלת מרכז בינלאומי להתרעה מצונאמי.
- (2) סיסמולוגיה וטקטוניקה של צונאמי באגן הלבנט.
- (3) מערכות גילוי גלי צונאמי בים.
- (4) מוצע שההשתייכות המוסדית של המומחים הללו תהיה מגוונת ותכלול:
 - (א) מרכזים וספקי אזהרה מצונאמי בים התיכון: תורכיה (KOERI), יוון (NOA), איטליה (INGV), צרפת (CENALT), פורטוגל (IPMA).
 - (ב) מרכזי התרעה באוקיאנוס השקט או בים הקאריבי.
 - (ג) מרכז ההתרעה ביפן או באינדונזיה (הוקם ע"י גרמניה).

ז. תרגול מתמשך. לא ניתן להפריז בחשיבותו, הן ברמה הארצית מקצה לקצה, והן בשילוב עם מסגרות בינלאומיות. מרכז "נחשול נצפה" ינהל לעצמו שגרת תרגול

הכוללת בין השאר השתלבות בתרגילים בינלאומיים ותרגולים חודשיים (בשבוע הראשון בכל חודש) לבדיקת התקשורת והערנות שמבצע כל אחד מספקי האזהרות מצונאמי בים התיכון.

במקביל יש לתרגל את הציבור במסגרות ארציות ומקומיות כגון "נקודת מפנה", ימי הדרכה לגופים האופרטיביים, לתשתיות ולמוסדות חינוך.

ח. **תקינה ייעודית לבניה עמידה לצונאמי** הכרחי לתכנון הנדסי ראוי של מבנים חדשים כמו גם חיזוק מבנים קיימים, ויהווה מפתח למזעור נזקים. לחילופין ניתן לאמץ בישראל תקינה ייעודית בינלאומית. עבור מתקני תשתית חיוניים, הועדה ממליצה לאמץ קריטריון ההסתברותי של אירוע צונאמי עם תקופת חזרה ממוצעת של 2,500 שנה (2% בתקופה של 50 שנה) כפי שיושם בארה"ב (Chock, 2013).

ט. **בדיקת עמידות מבנים אופייניים** ומתקני תשתיות חיוניים לצונאמי תבהיר מהו הנזק הפוטנציאלי ומהי רמת החשיפה של מדינת ישראל לסיכון זה. נתונים אלה ישמשו גם בסיס לחיזוק המבנים. מחקר ראשוני בנושא השפעת צונאמי על מבנה שלוד נערך על ידי ירון אופיר מהנדסים בע"מ (2013א', 2013ב') עבור מדור מיגון, פיקוד העורף, צה"ל, וזוהי דוגמא ראויה לחישוב גם אם נדרשת עבודה נוספת כדי לאשש את מאפייני הצונאמי (מהירות זרימה למשל) שעליהם היא מתבססת.

י. **שילוב "חבילת אבטחת סייבר" לאבטחת המידע והמסרים** שיועברו במרכז "נחשול נצפה" וצוות "מגדלור" כדי למנוע התרעות שווא וניצול עוין. יש לאבטח את המידע שיועבר במערכת "מים אדירים", החל משלב הפצתו על ידי ספקי האזהרה הבינלאומיים ועד הגעתו למערכת "מסר לאומי".

יא. **תיאום ושילוב** מערך ההתרעה מצונאמי "מים אדירים" עם מערכת ההתרעה המוקדמת מרעידות אדמה "תרועה" כדי לשפר את יעילותן, ולצמצם התרעות שווא.

יב. **יש לבחון, בעבודת המשך, את הסכנה מצונאמי במפרץ אילת, הכנרת וים המלח, לרבות ברכות האידוי באגן הדרומי הסמוכים לאזור המלונות.**

9 תודות

הועדה מבקשת להודות למר אהרון גבאי מחטיבת תורה, הדרכה ותרגילים, המשרד להגנת העורף¹³, על תרומתו ועזרתו החשובים.

10 רשימת המקורות

הרשימה כוללת מקורות לספרות הנזכרת בגוף הדוח ובנספחיו:

אלמגור, ג. ופרת, א., 2012. חוף הים התיכון של ישראל. המכון הגיאולוגי, דו"ח מס' GSI/28/2012, מהדורה שלישית מורחבת.

גולדשמיט, ו. וגלבו, מ., 1986. גאות ושפל בישראל. אופקים בגיאוגרפיה, 15 : 21-46.

גלנטי, ב., רוזן, ד. ס. וסלמון, ע., 2009. התאמת תוכנות להדמיית צונאמי ויצירת מגוון תרחישים לצורך התרעה מוקדמת מצונאמי בישראל. המכון לחקר ימים ואגמים בישראל, דו"ח H45/2009, והמכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/23/2009, דו"ח סופי מוגש למנהל המחקר למדעי האדמה, משרד התשתיות הלאומיות: 195 ע'.

גלנטי, ב., רוזן, ד. ס. וסלמון, ע., 2010. הדמיות ברזולוציה גבוהה של שני תרחישים נוספים של צונאמי במסגרת תכנית ליצירת בנק תוצאות של זמני הגעה ושטחי הצפה על ידי צונאמי בחוף הישראלי בים התיכון עבור המערכת הלאומית להתרעה מוקדמת מצונאמי. המכון לחקר ימים ואגמים בישראל, דו"ח H63/2010, והמכון הגיאולוגי, דו"ח TR-GSI/25/2010, מוגש למנהל המחקר למדעי האדמה, משרד התשתיות הלאומיות: 43 ע'.

ירון אופיר, מהנדסים בע"מ, 2013א'. השפעות עומס צונאמי על מבנים (Tsunami load impact on structures – Survey). נערך עבור מדור מיגון, פיקוד העורף, צבא הגנה לישראל.

ירון אופיר, מהנדסים בע"מ, 2013ב'. דו"ח חישובי של מבנה טיפוסי לעומסי צונאמי בחופי ישראל. פרויקט 1302.

רוזן, ס.ד. ורסקין, ל., 2013. חקר וניטור מדף היבשת כבסיס לקבלת החלטות בנושאי פיתוח תשתיות לאומיות כדוגמת איים מלאכותיים איסוף נתונים סביבתיים לצורך כיוול ושימוש במודלים תחזוקה והפעלה של מערכות מדידה של נתונים מטאו-ימיים בקצה מזח הפחם באשקלון ובקצה מזח הפחם בחדרה ועיבוד הנתונים, דו"ח התקדמות מס' 2, דו"ח ח"א"ל למנהל מחקר מדעי האדמה והים של משרד האנרגיה והמים, חיפה.

סלמון, ע., 2009. צונאמי, מים אדירים. גליליאו, 135, עמ' 30 – 39.

סלמון, ע., 2009. מפת האזורים המועדים להצפה מצונאמי לאורך חופי הים התיכון של ישראל במפרץ חיפה, גוש דן, אשדוד ואשקלון. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/24/2009, מוגש לוועדת ההיגוי הממשלתית להערכות לרעידות אדמה בישראל.

שלם, נ., 1956. על נחשולי ים סייסמיים (צונאמים) במזרח הים התיכון. ידיעות החברה לחקירת ארץ ישראל ועתיקותיה, תשט"ז, כ': 159-170.

שפירא, א., 2011. מסגרת היערכות לרעידות אדמה הרסניות בישראל. ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות לרעידות אדמה, משרד ראש הממשלה, דצמבר 2011.

שפירא, א., 2013. מסגרת להיערכות צונאמי. ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות לרעידות אדמה, משרד ראש הממשלה, 22 ביולי, 2013.

¹³ כעת רח"ל במשהב"ט

- Abe, K., 1989. Quantification of tsunamigenic earthquakes by the Mt scale. *Tectonophysics*, 166: 27-34.
- Almagor, G. and Garfunkel, Z., 1979. Submarine slumping in the continental margin of Israel and northern Sinai. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 63: 324-340.
- Ambraseys, N. N., 1960. The seismic sea wave of July 9, 1956, in the Greek Archipelago. *Journal of Geophysical Research* 65: 1257–1265.
- Ambraseys, N. N., 1962. Data for the investigation of the seismic sea-waves in the eastern Mediterranean. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 52: 895-913.
- Ambraseys, N. N. 2009. *Earthquakes in the Mediterranean and Middle East, A Multidisciplinary Study of Seismicity up to 1900*. Cambridge University Press, Cambridge, UK, 800 pp.
- Ambraseys, N. N. and Barazangi, M., 1989. The 1759 earthquake in the Bekaa Valley: implications for earthquake hazard assessment in the eastern Mediterranean region. *Journal of Geophysical Research*, 94: 4007-4013.
- Ambraseys, N. N. and Melville, C. P., 1988. An analysis of the eastern Mediterranean earthquake of 20 May 1202. In Lee WHK, Meyers H, Shimazaki K (editors), *Historical Seismograms and Earthquakes of the World*, Academic Press, San Diego, USA: 181-200.
- Arieh, E., 1989. Unconventional generation of historical tsunamis in the Levant offshore (abstract). *International Tsunami Meeting, International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG)*, Novosibirsk, USSR: 69.
- Beisel, S., Chubarov, L., Didenkulova, I., Kit, E., Levin, A., Pelinovsky, E., Shokin, Y. and Sladkevich, M., 2009. The 1956 Greek tsunami recorded at Yafa, Israel, and its numerical modeling. *Journal of Geophysical Research*, C09002, 114: 18 p doi:10.1029/2008JC005262}.
- Bruins, H. J., MacGillivray, J. A., Synolakis, C. E., Benjamini, C., Keller, J., Kisch, H. J., Klügel, A. and Plicht van der, J., 2008. Geoarchaeological tsunami deposits at Palaikastro (Crete) and the Late Minoan IA eruption of Santorini. *Journal of Archaeological Science*, 35: 191-212.
- Chock, G., 2013. *ASCE 7 AND THE DEVELOPMENT OF A TSUNAMI BUILDING CODE FOR THE U.S.* ASCE 7 Tsunami Loads and Effects Subcommittee.
- Druitt, T. H., Mellors, R. A., Pyle, D. M. and Sparks, R. S. J., 1989. Explosive volcanism on Santorini, Greece, *Geological Magazine* 126: 95–126.
- Dzvonkovskaya, A. and Gurgel, K. W., 2009. Future Contribution of HF Radar WERA to Tsunami Early Warning Systems. *European Journal of Navigation*, Vol. 7, No. 2. Pp. 17-23.
- Eguchi, R. T., Eguchi, M. T., Bouabid, J., Koshimura, S. and Graf, W. P., 2013. HAZUS Tsunami Benchmarking, Validation and Calibration, <http://nthmp.tsunami.gov/2013mesmms/abstracts/TsunamiHAZUSreport.pdf>

- Elias, A., Tapponnie, P., Singh, S. C., King, G. C. P., Briais, A., Daëron, M., Carton, H., Sursock, A., Jacques, E., Jomaa, R. and Klinger, Y., 2007. Active thrusting offshore Mount Lebanon: source of the tsunamigenic AD 551 Beirut-Tripoli earthquake. *Geology*, 35, (8): 755–758. doi: 10.1130/G23631A.1}
- FEMA P646, 2008. Guidelines for Design of Structures for Vertical Evacuation from Tsunamis. <http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1641-20490-9063/femap646.pdf>.
- Friedrich, W. L., Kromer, B., Friedrich, M., Heinemeier, J., Pfeiffer, T. and Talamo, S., 2006. Santorini eruption radiocarbon dated to 1627-1600 BC. *Science*, 312: 548. doi: 10.1126/science.1125087.
- Goodman-Tchernov, B. N., Dey, H. W., Reinhardt, E. G., McCoy, F. and Mart, Y., 2009. Tsunami waves generated by the Santorini eruption reached Eastern Mediterranean shores. *Geology* 37: 943–946, doi:10.1130/G25704A.1.
- Goodman-Tchernov, B., Dey, H. and Sharvit, J., 2013. Evidence of the Caesarea Maritima 749 AD Tsunami? Or perhaps the case of the tsunami-tinted glasses. Abstract, Geological Society of Israel, Annual Meeting, Akko, p. 83.
- Guidoboni, E. and Comastri, A., 2005. Catalogue of earthquakes and tsunamis in the Mediterranean area from the 11th to the 15th Century, INGV-SGA, ? Bologna, Italy.
- Guidoboni, E., Comastri, A. and Traina, G., 1994. Catalogue of ancient earthquakes in the Mediterranean area up to the 10th Century. INGV-SGA, Bologna, Italy.
- Hammitzsch, M., Lendholt, M. and Esbrí, M. Á., 2012. User interface prototype for geospatial early warning systems – a tsunami showcase. *Natural Hazards and Earth System Sciences* 12: 555–573. doi: 10.5194/nhess-12-555-2012.
- ICG/NEAMTWS-VIII, 2011. Interim Operational Users Guide for the Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North-eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas (NEAMTWS), Version 2.00, Approved by ICG/NEAMTWS-VIII (Santander, 22-24 November 2011), UNESCO; http://www.ioc-unesco.org/index.php?option=com_oe&task=viewDocumentRecord&docID=12077.
- IOC Manuals and Guides, 57, 2011. Reducing and managing the risk of tsunamis. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, 74 pp, in English, IOC/2011/MG/57Rev.2, Paris.
- Japan Seacoast Office and Coast Division, 2012. Guide to Determining the Potential Tsunami Inundation, Seacoast Office, Water and Disaster Management and River Department, National Institute for Land and Infrastructure Management, Japan Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, Ver. 2.00.
- Japan Institute of Construction Engineering, 2007. *Guide to Analyzing Tsunami Runup in Rivers* (draft), (in Japanese), <http://www.jice.or.jp/siryot1/pdf/tsunami.pdf>.
- LeVeque, R. J., 2006. Clawpack software — <http://www.clawpack.org>.

- McCoy, F. W. and Heiken, G., 2000. The Late-Bronze Age explosive eruption of Thera (Santorini), Greece: Regional and local effects. *Geological Society of America Special Papers*, 345, 43-70. doi: 10.1130/0-8137-2345-0.43
- McCoy, F. W., 2009. The Eruption in the Debate About the Date; in: Warburton, D.A., Ed., *Time's Up! Dating the Minoan Eruption of Santorini* [Acts of the Minoan Eruption Chronology Workshop, Sandbjerg, Denmark, Nov. 2007]; Monographs, Danish Inst. Athens, v. 10: 73-90.
- Miloh, T. and Striem, H. L., 1978. Tsunamis effects at coastal sites due to offshore faulting. In: Oren OH (editor), *Structure and tectonics of the Eastern Mediterranean*, Tectonophysics, 46: 347-356.
- Miller, W. 1913. *The Ottoman Empire, 1801-1913*. Cambridge University Press, 1913. Perry-Castañeda Library, Map Collection, The University of Texas at Austin. http://www.lib.utexas.edu/maps/historical/ottoman_empire_1801.jpg
- Murata, S., Imamura, F., Katoh, K., Kawata, Y., Takahashi, S. and Takayama, T., 2009. Tsunami -To Survive from Tsunami. *Advanced Series on Ocean Engineering*: Volume 32, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. <http://www.worldscibooks.com/engineering/7345.html>.
- Pareschi, M. T., Boschi, E. and Favalli, M., 2006. Lost tsunami. *Geophysical Research Letters*, 33: L22608, 6 p. doi:10.1029/2006GL027790.
- Papadopoulos, G. and Imamura, F., 2001. A proposal for a new tsunami intensity scale. *International Tsunami Symposium, Proceedings*, 7-10.8.2001, Seattle, Session 5, Number 5-1: עמודים: ?
- Papazachos, B. C., 1996. [Large seismic faults in the Hellenic arc](#). *Annali di Geofisica* 39 (5): 891–903.
- Perissoratis, C. and Papadopoulos, G. A., 1999. Sediment instability and slumping in the southern Aegean Sea and the case history of the 1956 tsunami. *Marine Geology* 161 : 287-305.
- Rosen, D. S., 1998, Assessment of marine environmental impacts due to construction of artificial islands on the coast of Israel, Characterization of the meteorological climate in the study sector, Progress Report No. 4, I.O.L.R. Report No. H16/98, Haifa, May 1998.
- Rosen, D. S., 2010. Environmental impact assessment for National Masterplan 13/b/1/1 for marine structures in Haifa bay and for the detailed plan for construction of a new containers terminal (Bay Port), characterization of the tide and sea level climate, answer to the EIA Guidelines section 1.3.4 and as input to section 4.4.2, IOLR report H54/2010, September 2010 (in Hebrew)
- Rosen, D. S., Galanti, B., Golan, A. and Raskin, L., 2007. Policy document on the collapse of coastal cliffs, assessment study on the expected changes until 2100 on the country beach cliffs due to climate change by marine morpho-dynamic processes. Final report, IOLR Report H6/2007, October 2007 (in Hebrew, submitted to the Ministry for Environment Protection), updated for sea levels at Hadera GLOSS station, June 2008.

- Rosen D.S., Kaplan A., 2007. Environmental loads design criteria for nearshore structures, Proc. 30th Intl. Conf. on Coastal Engineering, San Diego, USA, Sept. 2006, ASCE
- Rosen, D. S. and Raskin, L., 2014. Investigation and monitoring of the Israeli shelf as a basis for decision making during development of national infrastructures - Artificial islands as an example; Gathering of environmental data for calibration and models utilization, Progress Report 2, Sept. 2013, IOLR report No. H21/2014, Earth and Sea Science Administration, Ministry of Energy and Water report ES-12-2014. (in Hebrew).
- Salamon, A., 2011. Potential tsunamigenic sources in the eastern Mediterranean and a decision matrix for a tsunami early warning system. In Briand F (editor), Marine Geo-Hazards in the Mediterranean, Workshop Monographs, Rapports et Procés-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée (CIESMM), Monaco, 42: 35-42.
- Salamon, A., Rockwell, T., Ward, S. N., Guidoboni, E. and Comastri, A., 2007. Tsunami hazard evaluation of the eastern Mediterranean: historical analysis and selected modeling. Bulletin of the Seismological Society of America, 97, (3): 705-724. doi: 10.1785/0120060147.
- Salamon, A., Rockwell, T., Guidoboni, E. and Comastri, A., 2010. A critical evaluation of tsunami records reported for the Levant coast from the second millennium BCE to the present, Israel. Israel Journal of Earth Sciences, 58 (3-4): 327-354.
- Shaw, B., Ambraseys, N. N., England, P. C., Floyd, M. A., Gorman, G. J., Higham, T. F. G., Jackson, J. A., Nocquet J. –M., Pain, C. C. and Piggott, M. D., 2008. Eastern Mediterranean tectonics and tsunami hazard inferred from the AD 365 earthquake. Nature Geoscience 1: 268–276.
- Sieberg, A., 1932. Untersuchungen über Erdbeben und Bruchsschollenbau in Oestlichen Mittelmeergebeit. Ergebnisse einer erdbebenkundlichen orientreise 1928. Denkschriften der Medizinisch Naturwissenschaftlichen Gessellschaft zu Jena, 18: 161-273.
- Striem, H. L. and Miloh, T., 1976. Tsunamis induced by submarine slumping off the coast of Israel, Israel Atomic Energy Commission, Licensing Division, Report IA-LD-1-102: 23 p
- Sultan, N., Garziglia, S. and Stegmann, S., 2011. Investigating submarine landslides through geotechnical testing, in situ monitoring and numerical modeling: case of Nice slope. In Briand F (editor), Marine Geo-Hazards in the Mediterranean, Workshop Monographs, Rapports et Procés-Verbaux des Réunions de la Commission Internationale pour l'Exploration Scientifique de la Mer Méditerranée (CIESMM), Monaco: 75-82.
- Thio, H. K., 2009. Tsunami hazard in Israel. Prepared for the Geological Survey of Israel by URS (United Research Services) Corp, Pasadena, CA, USA — <http://www.gsi.gov.il/Eng/Uploads/264Israel-Tsunami-Hazard.pdf>.
- Tinti, S., Tonini, R., Bressan, L., Armigliato, A., Gardi, A., Guillande, R. and Scheer, S., 2011. Handbook on Tsunami Hazard and Damage Scenarios, JRC

- Scientific and Technical Reports (EUR collection), EUR 24691, EN, JRC61463, doi: 10.2788/21259.
- Titov, V. and González, F. I., 1997. Implementation and testing of the Method of Splitting Tsunami (MOST) model. National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) Technical Memo ERL PMEL-112 (PB98-122773), NOAA/Pacific Marine Environmental Laboratory, Seattle, WA: 11 p.
- TRIDEC, 2014. Collaborative, Complex and Critical Decision-Support in Evolving Crisis. <http://www.tridec-online.eu/web/guest>.
- Valencia, N., Gardi, A., Gauraz, A., Leone, F. and Guillaumde, R., 2011. “New tsunami damage functions developed in the framework of SCHEMA project: Application to European-Mediterranean coasts,” Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 11, 2385–2846.
- Van Dorn, W. G., 1987. Tide gage response to tsunamis. Part II: other oceans and smaller seas. *Journal of Physical Oceanography*, 17: 1507-1516.
- Wächter, J., Babeyko, A., Fleischer, J., Häner, R., Hammitzsch, M., Kloth, A. and Lendholt, M., 2012. Development of tsunami early warning systems and future challenges. - *Natural Hazards and Earth System Sciences (NHES)*, 12, 6, 1923-1935, DOI: 10.5194/nhess-12-1923-2012.
- WERA, 2014. <http://www.helzel.com>.
- Yalciner, A. C., Pelinovsky, E., Zaitsev, A., Kurkin, A., Ozer, C., Karakus, H. and Ozyurt, G., 2007. Modeling and visualization of tsunamis: Mediterranean examples In Kondu A (editor), *Nonlinear Waves and Tsunamis*. Springer-Verlag, New York: 2: 273-283 {doi: 10.1007/978-3-540-71256-5_13}.

נספחים

נספח א' החלטת הממשלה מס' 4738 (רעד/20) מיום 21 במאי 2012

בנושא מערך ההתרעה "מים אדירים"

מוצגים הקטעים הרלבנטיים בלבד. המקור:

<http://www.pmo.gov.il/Secretary/GovDecisions/2012/Pages/des4738.aspx>



החלטה מספר רעד/20 של ועדת השרים לעניין ההיערכות לטיפול ברעידות אדמה מיום 21.05.2012 אשר צורפה לפרוטוקול החלטות הממשלה וקבלה תוקף של החלטת ממשלה ביום 07.06.2012 ומספרה הוא 4738(רעד/20). הממשלה ה - 32 בנימין נתניהו

נושא ההחלטה

הקמת מערכת התרעה קצרת מועד ארצית לרעידות אדמה וצונאמי (מערכת "תרועה" ומערכת "מים אדירים")

מחליטים

בהמשך להחלטת הממשלה מספר 2305(רעד/4) מיום 7.10.10 בעניין הקמת מערכת למתן התרעה קצרת מועד על התרחשות רעידת אדמה בישראל והערכה מידית של הסיכון הנובע ממנה, להקים מערכת ארצית לקבלת התרעה קצרת מועד על התרחשות רעידת אדמה חזקה (להלן - מערכת "תרועה") וכן להסדיר אופן הפצת התרעה מפני התקרבות גל צונאמי לחופי ישראל (להלן - מערכת "מים אדירים") כמפורט להלן:-

2. מערכת "מים אדירים"

2.1 להטיל על מנהל מינהל האדמה והים לתכנן, להכין ולתפעל את המערכת להתרעה על אפשרות לצונאמי. ההכנות לקליטת הודעות ממערכות התרעה בינלאומיות לצונאמי תושלמנה בתוך 6 חודשים מקבלת החלטה זו.

2.2 מערכת "מים אדירים" תתבסס על קבלת הודעה ממערך בינלאומי הנבנה להתרעה וגילוי של גל צונאמי המתפתח בים התיכון ועשוי לפגוע גם בחופי מדינת ישראל. ההודעה תיבחן במרכז הרישום הסיסמולוגי ואם יתברר צורך, תופץ התרעה באמצעות מערכת ההתרעות לציבור של פיקוד העורף.

2.3 מערכת "מים אדירים" תתריע על אפשרות להתרחשות צונאמי בכל פעם שבישראל או סביבה תתרחש רעידת אדמה בעוצמה גבוהה מ $M_w=6$ או בכל מקרה שבו תתקבל במרכז הרישום הסיסמולוגי הודעה/אזהרה מאחד מהמרכזים האירופיים על חשש להיווצרות גלי צונאמי בים התיכון.

2.4 לקבוע כי ההחלטה על הוצאת אות התרעה לציבור בנוגע לצונאמי תהיה בידי יו"ר ועדת ההיגוי הבינמשרדית להיערכות לרעידות אדמה, או בהעדרו, על ידי מנהל מינהל האדמה והים, או בהעדרו, על ידי מנהל המכון הגיאולוגי לישראל, או על ידי מי שימונה לכך על ידו, הכל על פי הדחיפות בקבלת החלטה ובזמינות בעל התפקיד. החלטה על הוצאת התרעה תתבסס על חוות דעת של סיסמולוגים ובמידת האפשר, תוך אימות התפתחות גל צונאמי בים.

נספח ב' רקע מדעי - תופעת הצונאמי¹⁴

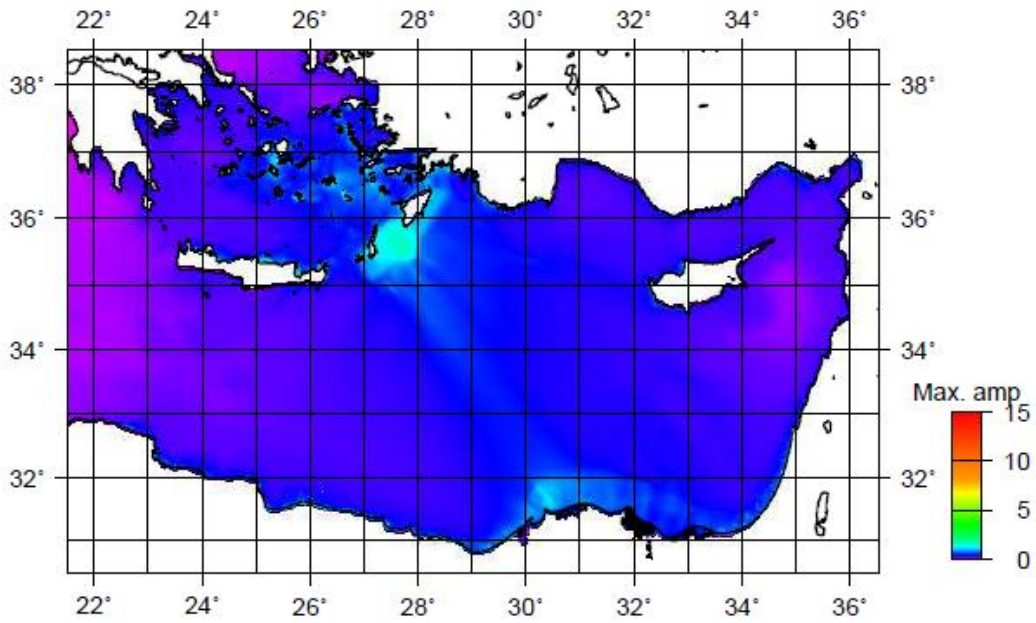
ב' 1 תיאור התופעה והגורמים לה

צונאמי, tsunami - גל נמל ביפנית, הוא גל העובר בכל גובהה של עמודת המים בים הפתוח, עד כדי מספר קילומטרים, אורכו גדול מאוד עד כדי כמה מאות קילומטרים וזמן מחזורו ארוך, כ-5 דקות עד כשעה. גל הצונאמי נוצר כתוצאה מהפרעה פתאומית וחריפה בגוף המים, בדרך כלל כתוצאה מרעידות אדמה או מגלישות קרקע תת-ימיות גדולות אשר חלקן נגרם מרעידות אדמה, שמוקדיהן בים ולעיתים אף ביבשה. גורמים נוספים לצונאמי הינם גלישות קרקע או קרחונים מהיבשה לים, התפרצויות געשיות ואף פגיעת מטאוריטים בים. החל ממצחית המאה ה-20 נוספו אירועי צונאמי שמקורם בפיצוצים גרעיניים בים, וכן בכשל מדרונות תת-ימיים בקרבת החוף בעקבות עבודות תשתית מלאכותיות שהפרו את שיווי המשקל הטבעי שם. גובהם של גלי צונאמי הנגרם ברעידת אדמה יחסי לרכיב ההסטה האנכי של המקור הטקטוני (ההעתק) שגרם לרעידה, כאשר רוב האנרגיה של הצונאמי מתפשטת בניצב לציר האורך (strike) של ההעתק אשר עשוי להגיע ברעידות חזקות לכמה מאות קילומטרים. לפיכך הגלים פוגעים בקטעי חוף ארוכים במשרעת אחידה פחות או יותר ובאורכי גל גדולים (איור ב' 1). גובה גלי צונאמי המתחולל כתוצאה מגלישות קרקע תלוי בעיקר בעובי ונפח החומר הגולש ובמהירות הגלישה, והוא מרבי לאורך ציר התנועה של הגלישה במדרון ודועך במהירות לצדדים. זהו מקור נקודתי בקירוב הנע על קרקעית הים במדרון לאורך כמה מאות מטרים ואף מספר קילומטרים. לפיכך, פריסת גובה הגל לאורך החוף תצטייר כצורת פעמון, ששיאו בנקודת החוף הקרובה לגלישה, ואורכי הגל יהיו קצרים יותר יחסית לאירועי צונאמי שנגרמים על ידי רעידות אדמה (איור ב' 2).

בים העמוק הצונאמי נע במהירות של עד כמה מאות קילומטרים לשעה, הגל ארוך מאוד וברוב המקרים אין גובהו עולה על כמה עשרות סנטימטרים, ולכן הוא כמעט ואינו מורגש.

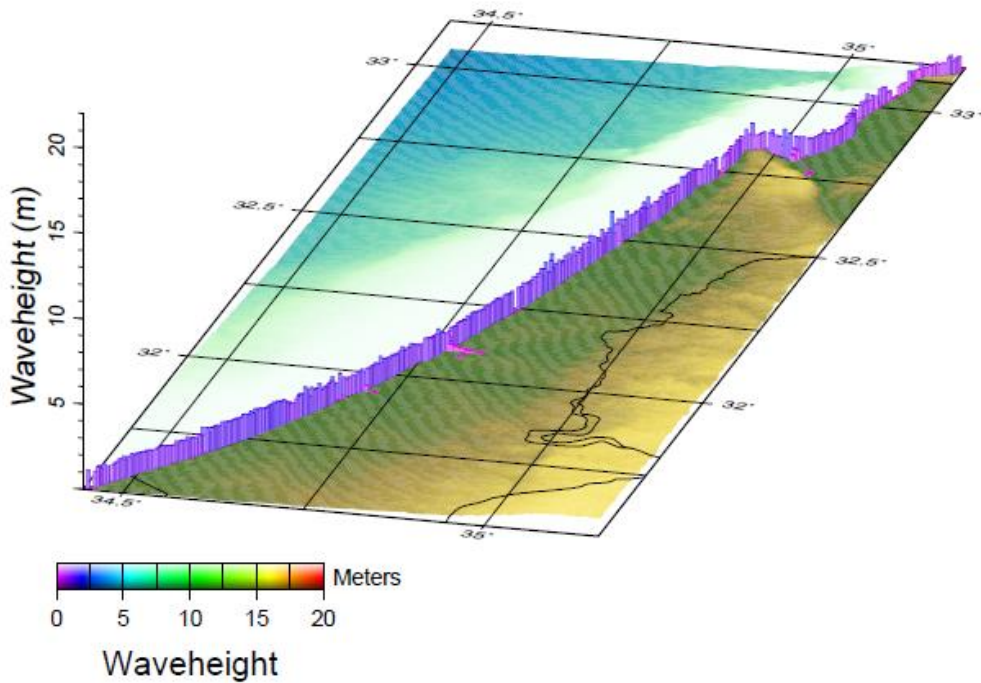
¹⁴ נספח זה מתבסס על פרקים 3.4 ו- 4.1.7 אצל אלמגור ופרת (2012), ותמציתו מוצגת בפרק 2 בגוף הדוח.

Crete-8.3-1



א.

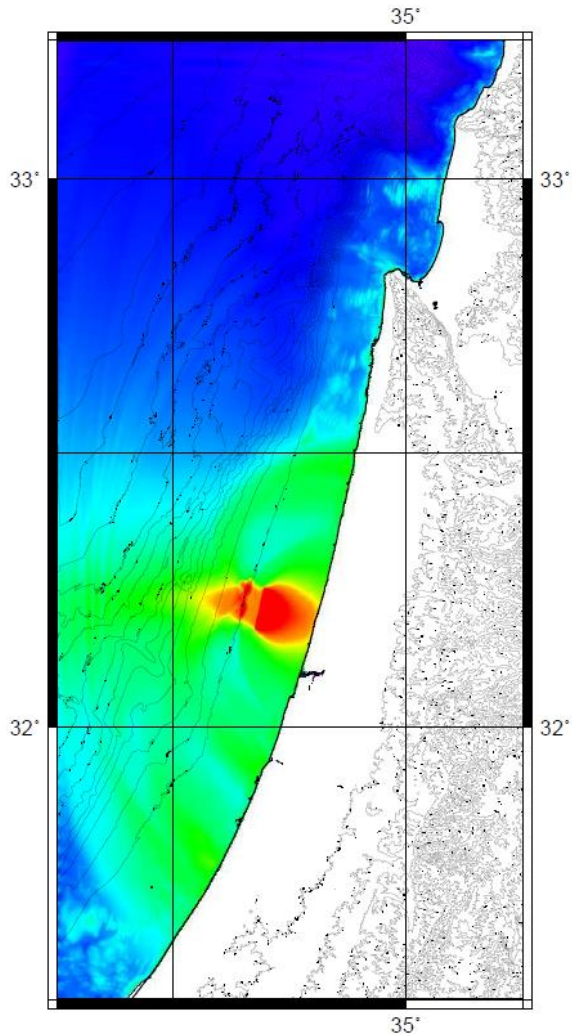
A - 2



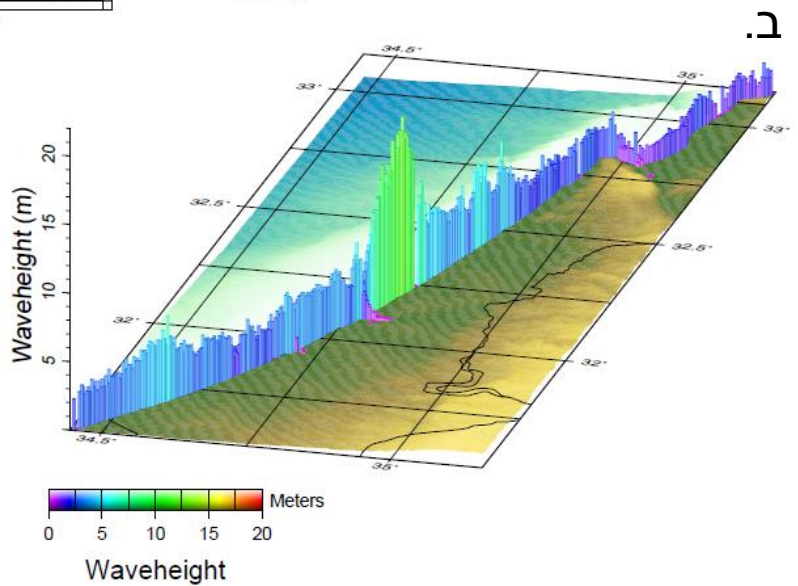
ב.

איור ב' 1: תרחיש ממוחשב של צונאמי מרעידת אדמה במגניטודה 8.3 בקשת ההלנית, מדרום לרודוס: א. גובה גל מרבי בים במהלך האירוע. מרבית האנרגיה משתחררת בניצב לרעידת האדמה; ב. גובה גל מרבי לאורך החוף של מדינת ישראל, נראה אחיד פחות או יותר לאורך החוף.

S13



א.



ב.

איור ב' 2: תרחיש ממוחשב של צונאמי מגלישה תת ימית מול חופי גוש דן: א. גובה גל מרבי בים במהלך האירוע. מרבית האנרגיה משתחררת במקביל לכיוון התנועה של הגלישה במדרון; ב. גובה גל מרבי לאורך החוף, צורת הגל נראית כפעמון, ששיאו מול אזור הגלישה והוא דועך לצדדים.

מאידיך, בקרבת החוף, כאשר קרקעית הים מתרדדת, מהירות הצונאמי מואטת לכדי מספר מטרים בשנייה, אורכו מתקצר לכדי כמה עשרות קילומטרים וגובהו עולה במקרים הקיצוניים לכדי מספר מטרים עקב תופעת ההחפה (wave shoaling effect). בהגיעו אל קרבת החוף גובה גל הצונאמי יגדל והגל שם יכול להופיע כגאות מהירה, או שפילה מהירה, או כזנק הידראולי (bore), או אפילו, בתנאי קרקעית מיוחדים כסדרה של גלים נשברים (Solitons). בשל אורכו הגדול של גל הצונאמי הוא מכיל כמות מים רבה ועל כן עלול להציף את רצועת החוף הקרובה לים אף למרחק גדול בהרבה מטווח ההצפה של גלי סערה. כאשר החוף שטוח מאוד ההצפה יכולה להגיע למספר קילומטרים ביבשה, וכאשר החוף תלול ומצוקי ההצפה תוגבל מאוד, מלבד במוצאי נחלים, שם הצונאמי יוכל להיכנס מספר קילומטרים ולגרום להצפות בשטחים שמעבר לגדות הנחלים.

צונאמי נוצר באירוע חד-פעמי, אך הוא מורכב ממספר גלים עוקבים, הראשונים שבהם (כ-3 עד 7 גלים) בדרך כלל גבוהים במיוחד, והם יחד עם החזרותיהם יכולים להימשך מספר שעות ועד כדי יממה, כאשר הגל הראשון אינו בהכרח הגל הגבוה או המציף ביותר. לעיתים מתחיל הגל הראשון במופע (phase) שלילי, ואז אירוע הצונאמי מתחיל בהשתפלות פני הים ונסיגתו למשך מספר רב של דקות. חזית הצונאמי המתקדם נראית מן היבשה כנד מים או כשיטפון הנע במהירות. אחרי פגיעתו בחוף גורף הגל בחזיתו סחף רב (סחופת ורחופת), שברים והריסות של מבני חוף (צופת), ותנועתו מלווה לעיתים ברעש חזק. במקרים אחרים ההצפה תראה כעליה מהירה של פני הים ללא דמיון לגלי הרוח הקצרים, אלא כמסת מים אדירה שעולה ומציפה את החוף. לעיתים, בתלות במבנה וצורת צדודית החוף, בעת התקרבות הצונאמי אל מדרון היבשת הרדוד הוא עשוי להתפרק למספר גלים קצרים יותר הקרואים סוליטונים שיעלו בזה אחר זה על החוף. גלים נוספים נוצרים כתוצאה מהחזרה (reflection) מתווי חוף וממבנים תת-ימיים מזדקרים. לכן האירוע יכול להמשך מספר שעות ואפילו כיממה עד דעיכתו, והוא מלווה בדרך כלל במערבולות וזרמי חוף משמעותיים. בדומה לכל תופעה של גלי כובד, גם גלי הצונאמי

עוברים שבירה והחזרה, מיקוד והגברה, עקיפה ופיזור, התאבכות בונה והורסת, וכיו"ב, בייחוד בחופים מפורצים ונמלי ים סגורים בחלקם.

בדומה לרעידות אדמה, גם עבור צונאמי הוצעו מספר סולמות (scales) איכותיים וכמותיים לתיאור העוצמה (intensity) והמגניטודה (magnitude, Mt). סולם העוצמה הראשון לצונאמי הוצע על ידי Ambraseys (1962) תוך שהוא מסתמך על Sieberg (1932) והוא נקרא Sieberg-Ambraseys. הסולם כלל 6 דרגות בלבד ושימש בעיקר באירופה. Papadopoulos and Imamura (2001) הציעו להרחיב סולם זה ל-12 דרגות אשר מקבילות פחות או יותר לסולם העוצמה של רעידות האדמה, כאשר הייחוס הוא למידת הנזק מהצונאמי (נזק למבנים, חפצים, כלי שיט וכיו"ב) ולהשפעתו על אנשים. דרגת העוצמה נקבעת לכל אתר שנפגע בנפרד, וככל שהנזקים באתר הנתון חמורים יותר כך העוצמה במקום זה גבוהה יותר. כלומר, עבור אירוע אחד ייתכנו מספר עוצמות בהתאם לחומרת הנזקים שקרו בכל אחד מהאתרים שנפגעו.

סולם המגניטודה לצונאמי המקובל כיום הוא של Abe (1989). סולם זה אומד את גודל הצונאמי על פי גובה הגל כפי שנמדד במקום נתון בירכתי החוף (על קו עומק 100 מ' בקרוב) ותוך התחשבות במרחק של מקום זה מהמוקד בו נוצר הצונאמי. בשיטה זו, מדידות רבות של אותו אירוע, במקומות ובמרחקים שונים מהמוקד, אמורות להתכנס למגניטודה אחידה (במסגרת אי הוודאות) וזאת בשל תיקון המובנה בשיטת החישוב אשר נועד לשקף את דעיכת הצונאמי במרחב ככל שמתרחקים מהמוקד. ככלל, סולם המגניטודה רציף ולוגריתמי ומאפשר לכמת בכפיפה אחת טווח רחב מאוד של אירועים שונים בגודלם. כיום נרשמים אירועי צונאמי באמצעות מדי מפלס ים מסוגים שונים (מדי לחץ מטובעים, מדי מפלס אקוסטיים, מכ"מ, מצוף עם ממיר ספרתי, מצוף GPS, ועוד) המוצבים במים רדודים יחסית (מספר מטרים) אך לעיתים גם במים עמוקים על מבנים קבועים כמו אסדות הפקת גז, וגם באמצעות חיישנים המוצבים במיקומים מרוחקים מהחוף בפני הים (מצופי GPS), או על קרקעיתו (מדי לחץ מאוד רגישים). אמצעי ניטור

נוסף הם מערכות מכ"מ בתדר גבוה המוצבות בגב החוף (WERA, 2014);
 (Dzvonkovskaya and Gurgel, 2009). מידע משלים נאסף באמצעות סקרי שטח
 שנעשים מיד אחרי אירועי צונאמי, המספקים נתונים לגבי תחום ההצפה המרבי, גובה הגל
 באזורי ההצפה, וכמובן על הנזקים שנגרמו.

ב' 1.1 הגדרות ומושגי יסוד לתיאור כמותי של תופעת הצונאמי

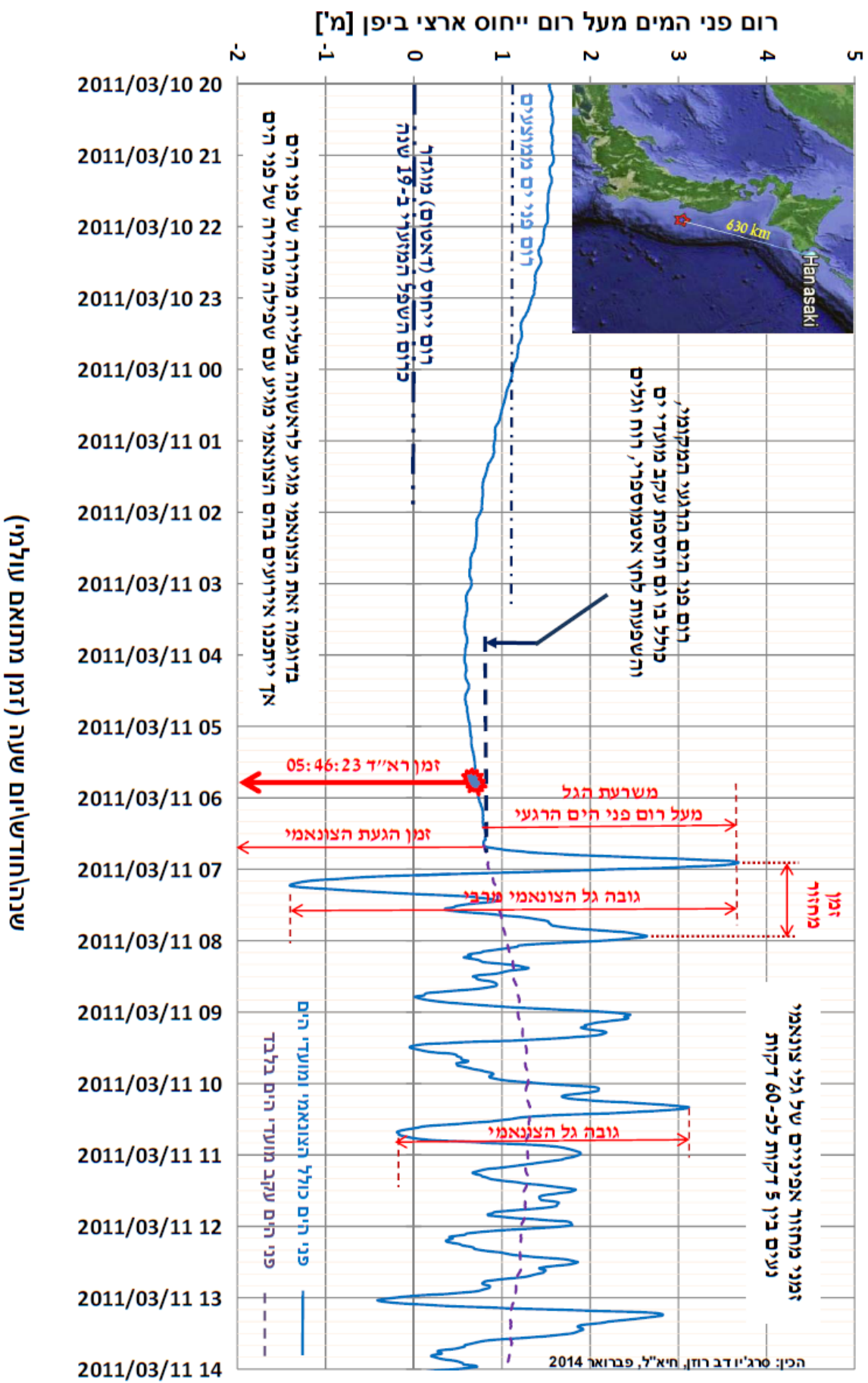
מקובל לתאר באופן כמותי את המאפיינים של תופעת הצונאמי באמצעות כמה מונחי
 יסוד, בפרט גובה הגל וזמן המחזור שלו (איור ב' 3). תיאור הצונאמי וההצפה בקרבת
 החוף נעשה באמצעות מספר הגדרות ופרמטרים המוצגים באיור ב' 4 ואשר ככל הנראה
 ישמשו בבסיס התקן האמריקאי לבניה עמידה לצונאמי (Gary Chock, 2013; ASCE 7
 and the development of a tsunami building code for the US, הפרמטרים הם:
גובה גל הצונאמי בירכתי החוף, עומק ההצפה (מעל רום פני הקרקע), הרום המרבי של
טיפוס הצונאמי והמרחק האופקי מקו הגבול של ההצפה המרבית. גובה גל הצונאמי
בירכתי החוף נמדד במיקום בו עומק המים כ- 100 מ', משפל הגל לשיא שלו. משרעת הגל
באותו מקום מוגדרת כרום שיא הגל מעל רום מפלס פני הים בעת אירוע הצונאמי. עומק
ההצפה הוא העומק הרגעי של מי הצונאמי, מדוד כהפרש בין רום פני מי הצונאמי הרגעי
ורום פני הקרקע המקומיים. הרום המרבי של טיפוס הצונאמי מוגדר כרום המרבי אליו
הגיעו מי הצונאמי מעל רום פני ים ממוצעים (בישראל זהו ערכו של רום אפס האיזון
הארצי בקירוב). המרחק האופקי מקו הגבול של ההצפה המרבית הוא המרחק המרבי
המדוד אופקית שאליו הגיעה הצפת הצונאמי.

ב' 2 צונאמי בישראל

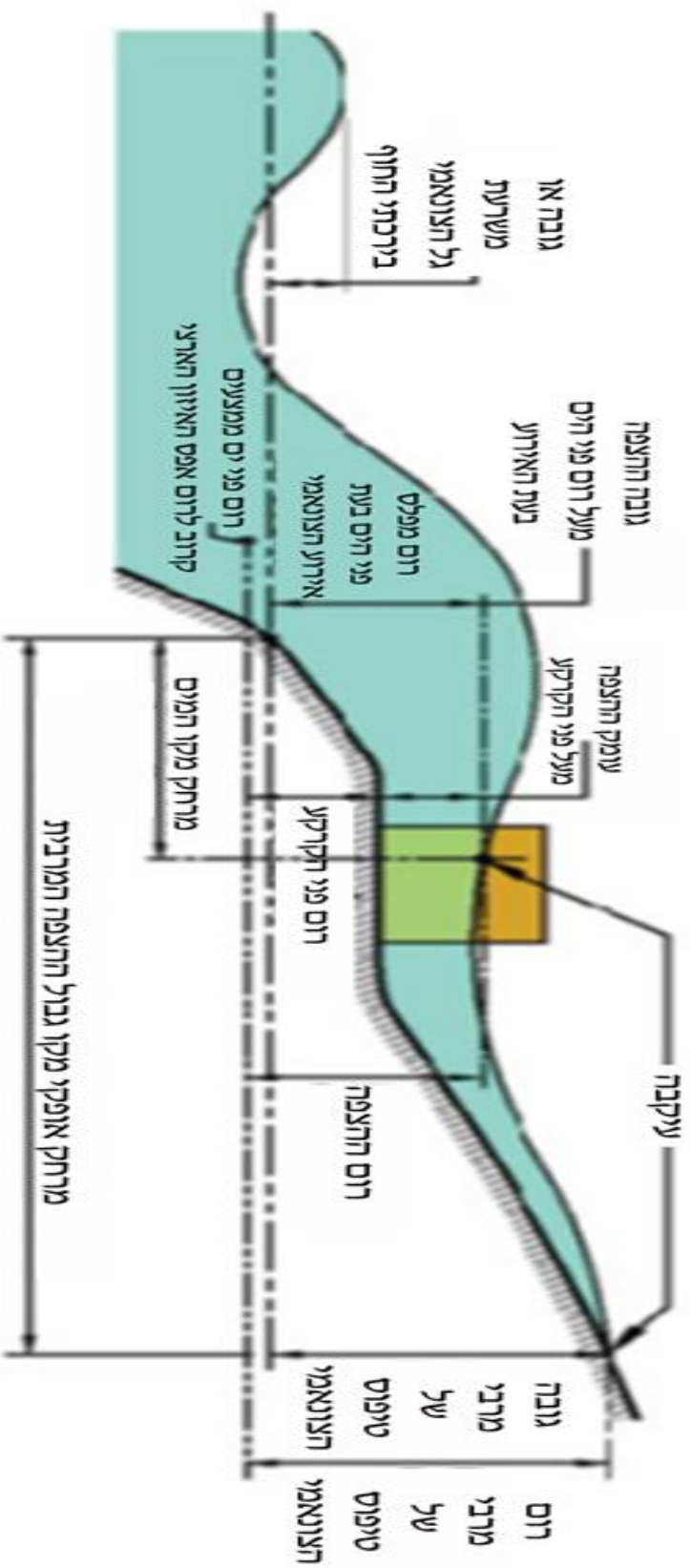
ב' 2.1 מקורות המידע על צונאמי בישראל

המידע על אירועי צונאמי באגן המזרחי של הים התיכון שהתחוללו בעבר מוגבל בגלל
 תדירות הופעתם הנמוכה והעדר תיעוד כמותי. אומנם הדיווחים ההיסטוריים של אירועי
 צונאמי בחופי ארצות הלבנט רבים יחסית בגין ההיסטוריה המתועדת הארוכה של האזור,
 אך הם תיאוריים וחלקיים שכן הם נכתבו מנקודות מבטם הסובייקטיבית של המדווחים,

המדרת מונחי יסוד לגלי צונאמי תוך שימוש ברישום גלי הצונאמי
 כפי שנרשמו בתחנה האנזאקי בצפון יפן ב-11 במרץ 2011



איור 4: הפרמטרים המקובלים לתיאור כמותי של תופעת הצונאמי בקרבת החוף הם: **גובה גל הצונאמי בירכתי החוף, עומק ההצפה** (מעל רום פני הקרקע), **רום המרבי של טיפוס הצונאמי והמרחק האופקי מקו הגבול של ההצפה המרביית**. **גובה גל הצונאמי בירכתי החוף** נמדד במיקום בו עומק המים כ-100 מ', משפל הגל לשיא שלו. **משירעת הגל באותו מקום מוגדרת כרום שיא הגל מעל רום מפלס פני הים בעת אירוע הצונאמי**. **עומק ההצפה** הוא העומק הרגעי של מי הצונאמי, מודד כהפיש בין רום פני מי הצונאמי הרגעי ורום פני הקרקע המקומיים. **רום המרבי של טיפוס הצונאמי** מוגדר כרום המרבי אליו הגיעו מי הצונאמי מעל רום פני ים ממוצעים (בישראל זהו ערך של רום אפס האיוון הארצי בקיורוג). **המרחק האופקי מקו הגבול של ההצפה המרביית** הוא המרחק המרבי המדוד אופקית שאליה הגיעה הצפת הצונאמי.



אשר לעיתים אף לא חזו באירוע. יחד עם זאת, מידע זה הינו בעל ערך רב, משום שעל פי רוב זוהי העדות היחידה ששרדה, ובעזרתו ניתן לדעת על עצם קיומם של אירועי הצונאמי ותפוצתם בזמן ובמרחב.

המידע מהדיווחים ההיסטוריים רוכז במספר קטלוגים, הראשון ביניהם וחדשני במהותו לעת זמנו נערך על ידי נתן שלם (1956) ובהמשך גם על ידי Amiran et al. (1994). ניתוח המידע בקטלוגים אלה ואחרים בני אותה התקופה העלה שהם אינם מדויקים מספיק ונדרשה הערכה מחודשת וביקורתית (למשל, Karcz, 1987). כתוצאה מכך נעשו בעת האחרונה עבודות מקיפות ויסודיות לגבי רעידות אדמה וצונאמי בכל אירופה ואגן הים התיכון המזרחי (למשל, Guidoboni et al. (1994); Guidoboni and Comastri (2005); ו-Ambraseys (2009)), כמו גם הערכה מחודשת של אירועי הצונאמי בישראל וסביבתה, ונבנתה רשימה אמינה ככל שהמידע ההיסטורי העומד לרשותנו כיום מאפשר (Salamon et al., 2007, 2010).

מידע נוסף מאירועי עבר, לרבות מתקופות פרהיסטוריות, עשוי להתקבל ממחקרי שטח וארכאולוגיה בים וביבשה, כמו למשל, בחקירת הצונאמי שנגרם על ידי התפרצות הר הגעש סנטוריני בים האגאי, כ-3,600 שנה לפני זמננו (למשל, Bruins et al., 2008). החקירה בתחומים אלה מורכבת למדי והיא מספקת בדרך כלל מידע נקודתי, אינה מרמזת על המקור לצונאמי ומלווה באי וודאות לגבי זמן האירוע. עבודות השטח בישראל בנושא זה התרכזו בעיקר באזור קיסריה, והן טוענות לעדויות מאירועים שחלקם מקביל אולי לאירועים ההיסטוריים וחלקם אף מוקדמים יותר. חלק מהמחקר התמקד באזור הימי בסביבות הנמל ההרודיאני העתיק (Goodman-Tchernov et al., 2009), והפניות נוספות שם) וחלק אחר עסק בניתוח שכבות קרקע שנמצאו בחפירות ארכיאולוגיות בחלק היבשתי של קיסריה העתיקה (Goodman-Tchernov et al., 2013). מעניין לציין שמפלס הים הגיע למצבו הנוכחי רק לפני כ-4,000 שנה וכתוצאה מכך עדויות לאירועי צונאמי מוקדמים יותר, כאשר מפלס הים היה נמוך יותר, נמחקו או כוסו כתוצאה מעלית פני

הים. מקורות מידע נוספים מתבססים על אירועי צונאמי עכשוויים במזרח הים התיכון, אם כי מספרם מועט בשל הזמן הקצר מאז הוחל בתיעוד מכשירי של אירועים מסוג זה וקצב התרחשותן הנמוך, ולכן מקור זה מספק תמונה חלקית בלבד.

בהעדר עדויות ישירות המשקפות טווח זמן רחב, ומשום שזמן החזרה הממוצע של אירועי צונאמי הינו ארוך למדי, יש צורך להיעזר במידע על המקורות פוטנציאליים לצונאמי בישראל על בסיס המבנה הסייסמו-טקטוני, הפעילות הגעשית, הסדימנטולוגיה והבתימטריה באגן המזרחי של הים התיכון. לדוגמא, עדויות עקיפות לאירועי צונאמי בעבר עולות גם מחקירה וניתוח של שרידי גלישות-עבר תת-ימיות במדרון היבשת של ישראל, וגם למשל כדוגמת ניתוח ההתמוטטות של צלע הר הגעש אֶטְנָה בסיציליה לפני כ-8,000 שנה (Pareschi et al., 2006).

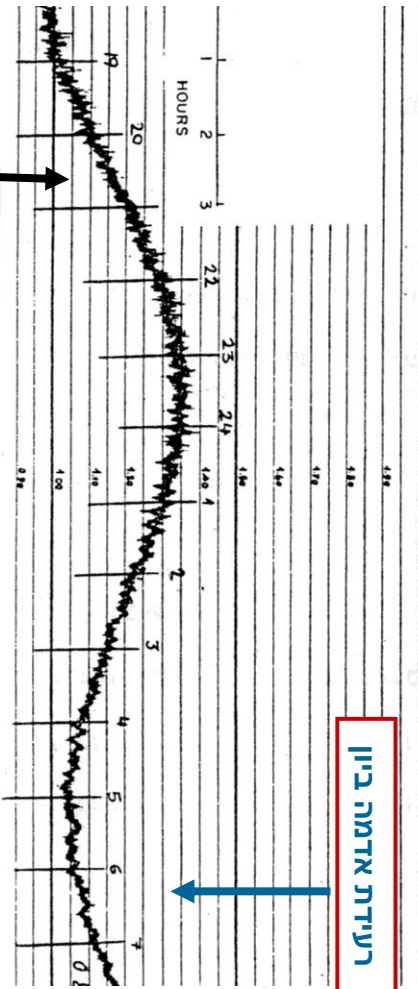
ב' 2.2 רשימת אירועי הצונאמי שהתרחשו בישראל

הרשימה כוללת את אירועי הצונאמי שהתרחשו בחוף המזרחי של הים התיכון, ממצרים בדרום ועד מפרץ איסקנדרון בצפון ובקפריסין, כפי שעולה מדיווחים היסטוריים ורישומים מודרניים (טבלה 2 בגוף הדוח). הטבלה מעובדת מתוך של Salamon et al. (2009, 2010) אשר התבססו בעיקר על הקטלוגים של Guidoboni et al. (1994), Guidoboni and Comastri (2005), ו-Ambraseys (2009) ומקורות נוספים כמפורט שם. ראה מיקום האירועים באיורים 2 א', 2 ב' בגוף הדוח.

ב' 2.3 מידע כמותי על צונאמי בישראל

מחופי ישראל ידועים רק שני תיאורי צונאמי המכילים מידע כמותי: האחד מתאריך 30.10.1759, המתאר מי ים שהציפו את רחובות עכו עד גובה 8 רגל (כ-2.5 מ'), אך ללא ציון מיקום הרחובות וגובהם מעל מפלס הים הקבוע (Ambraseys and Barazangi, 1989). השני, מהעת החדשה, מתאר צונאמי שמקורו ברעידת האדמה בים האגאי ב-9.7.1956, אשר הגיע לחופי ישראל ונרשם בפרוט במד גאות צף בנמל יפו (איור ב' 5, על פי גולדשמיט וגלבו, 1986) בגובה של 28 ס"מ. מסתבר כי ברישום זה חסר תיעוד של המפלס במשך כשעה וארבעים דקות, משעה 7:20 עד 8:40 בקרוב. מאחר והרעידה התרחשה ב-11:6:

שם התחנה: 1221/4
 י: 1221/4
 א: 1221/4
 סם סדרתי: 1221/4
 התקופה (שנים): 1956
 היחידה: מטרים



גובה הגלים ס"מ

זמן בשעות

אירור טס' b 8: עקום גאות רגיל (ללא צונמי) 56P - 8/7 - ברפר.

שם התחנה: 1221/4
 י: 1221/4
 א: 1221/4
 סם סדרתי: 1221/4
 התקופה (שנים): 1956
 היחידה: מטרים

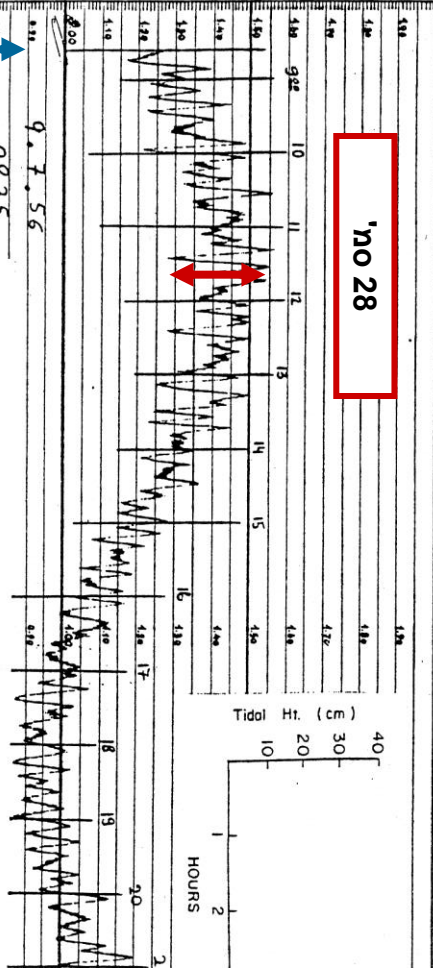


Figure 8a. Seismic sea wave (tsunami) of 9 July 1956 at Jaffa resulted an undersea earthquake in the Greek archipelago with a magnitude 7.5, occurring earlier on the same day. The period of the ts is ~ 12-15 min and the maximum amplitude is 28 cm.

צונמי ביפו

פר. הגל הט סמט הנר תצאה של רעידת אדמה ש תמה 5, שהתרחשה גר הירורני. המחזור של הצונמי הוא 5-12 דקות והמשטת

רישום מפלס הים בנמל יפו לאחר רעידת אדמה שארעה בים האגאי, יוני, בתאריך 9/7/1956, בשעה 06:11. במגניטודה 5.7M. ניתן להבחין בשניו חד באופי הגלים כשעתיים לאחר הרעידה, בשעה 08:30 לערך, ואלה הם למעשה גלי הצונאמי שנוצרו ברעידה. גלי הצונאמי הגיעו לגובה מרבי של 28 ס"מ לאחר כשלוש שעות מתחילתו של האירוע. לא ידוע על עדי ראיה לצונאמי הזה בישראל.

מתוך: גולדשמיט וגלבוע, גאות ושפל בישראל, אופקים בגיאוגרפיה, עמ' 46-21, 1986.

בבוקר וזמן ההגעה לישראל הוא בין שעה וחצי עד שעתיים, ברור כי הגל(ים) הראשונים של הצונאמי לא נרשמו. לכן, ייתכן מאוד כי הגלים הראשונים היו גבוהים יותר מהגובה המרבי שנרשם בפועל. כך או אחרת, האירוע לא דווח על ידי אנשים. רישום מסוג זה (מריאוגרמה) ועוד אחדים כדוגמתו, שנרשמו במזרח הים התיכון, שימשו לצורך חקירה מעמיקה של האירוע, למשל על ידי Beisel, et al. (2009), אשר ממצאיו תומכים בהשערה של Perissoratis and Papadopoulos (1999) שהצונאמי נגרם משילוב של רעידת אדמה וגלישה תת-ימית גדולה שבאה בעקבותיה. מחקר זה מצביע על חשיבותו של תיעוד כמותי מפורט.

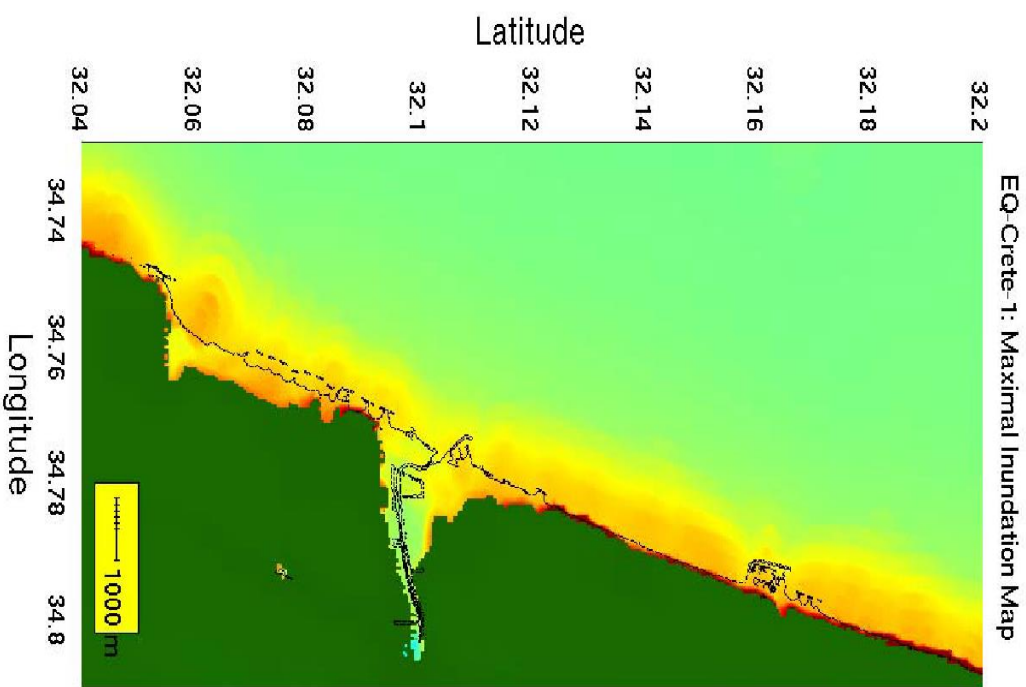
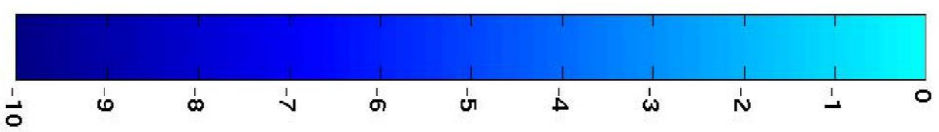
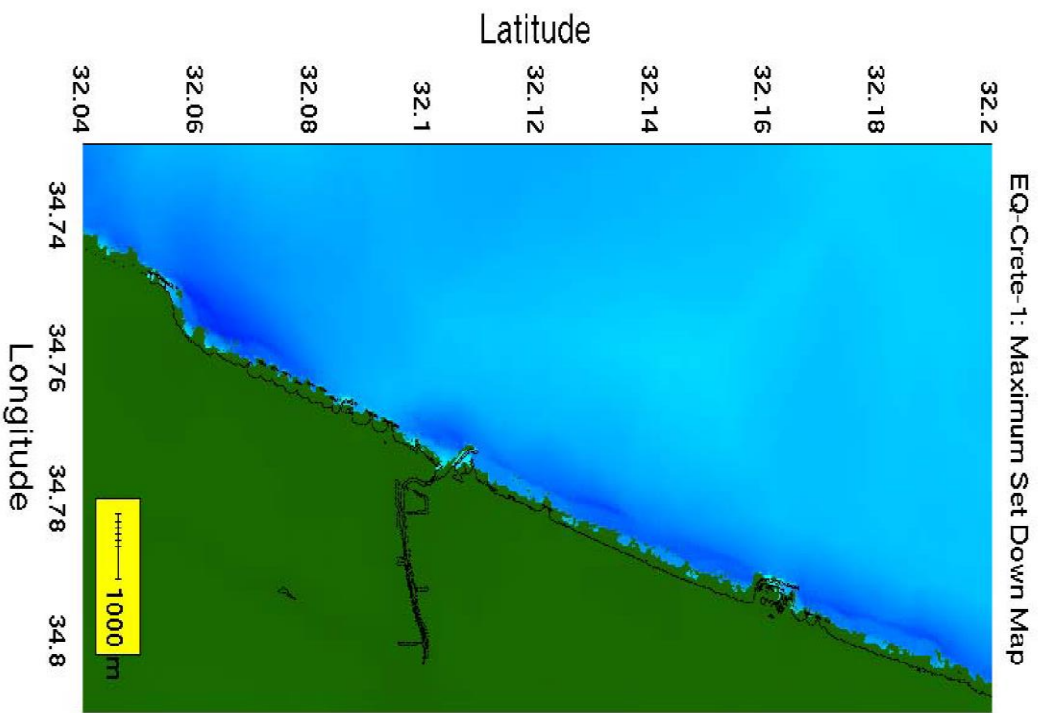
ב' 2.4 מודלים ממוחשבים של תרחישי צונאמי

בהעדר תיעוד כמותי של אירועי צונאמי בעבר קשה לתכנן אמצעים הנדסיים יעילים למזעור הנזק הצפוי. כדי לקבל מושג כמותי על האירועים החזויים נבנו מודלים ממוחשבים של תרחישי צונאמי, אשר מתארים היווצרות צונאמי, התפשטותו במרחב והצפת השטחים שאירוע נתון עלול לחולל. ההדמיות נסמכות על מודלים פיסיקליים אשר מתארים את תנועת הגלים בים ואת ההצפה ביבשה באמצעות משוואות מים רדודים. לצורך הדימוי מכינים מפה בתימטרית-טופוגרפית מפורטת ככל האפשר של קרקעית הים ושל החוף הסמוך, ובוחרים בגורם המתאים לצונאמי שאותו חוקרים. מגדירים את הגיאומטריה של הגורם לצונאמי ואת השינוי הבתימטרי שהוא מחולל, כאשר עבור רעידת אדמה מציינים את מידת ההסטה הטקטונית ועבור גלישה תת ימית את נפחה, המדרון שלאורכו היא נעה ומהירות תנועתה. תוכנת התרחישים מתרגמת את השינוי הגיאומטרי שנוצר בתבליט של קרקעית הים להפרעה בגוף המים, ומחשבת את התקדמות ההפרעה (גלי הצונאמי) שנוצרה על גבי המודל הבתימטרי ואת תחום ההצפה על גבי המודל הטופוגרפי של החוף. החישוב מאפשר לקבוע באופן כמותי בכל רגע נתון את התפשטות הצונאמי במרחב, גובה הגלים בים ובחוף, זמן הגעתו של הגל הראשון אל החוף מרגע תחילת האירוע, מהלך ההצפה של החוף ועוד. בהעדר ידיעה ברורה של הפרמטרים הפיסיקליים המשפיעים על האירוע, מכיילים את המודל בעזרת מידע מאירועי אמת (benchmarks) בעבר, בוחנים את התוצאות בעזרת ניסויים מבוקרים במעבדה, ובהתאם

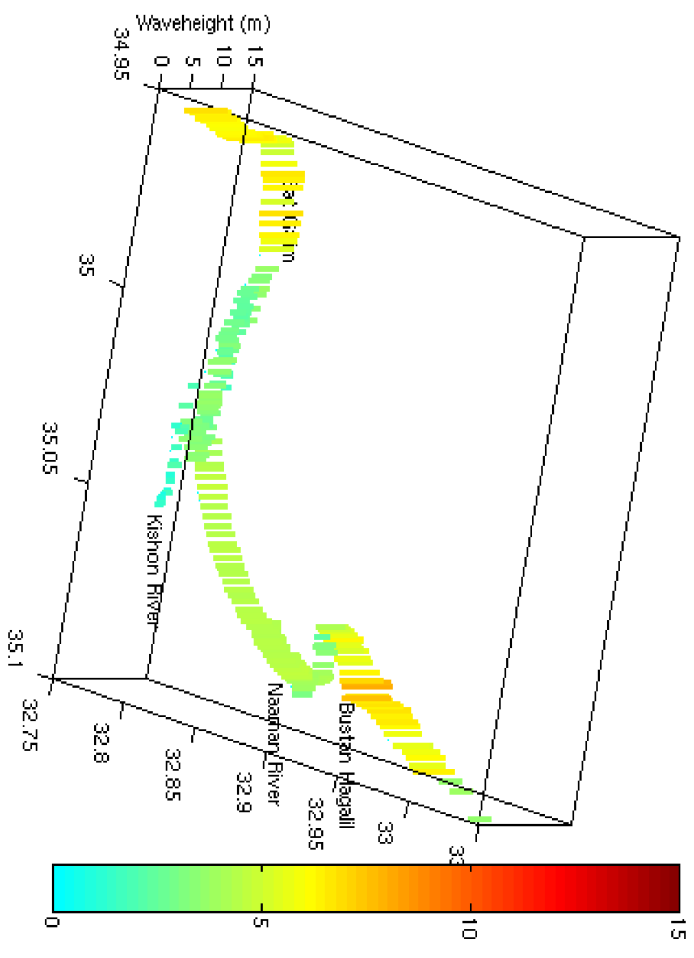
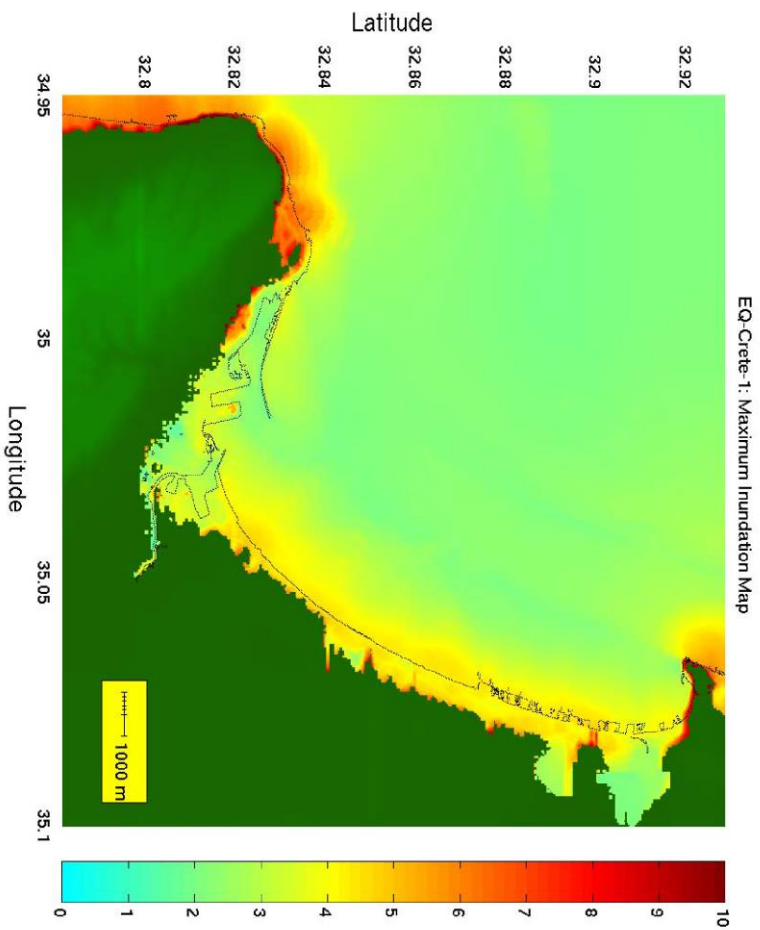
מאשרים את תקפותו (validity) של המודל. מודלים תקפים מאפשרים ביצוע מבחני רגישות וחיזוי של האזורים המועדים להצפה, הכנת מפות סיכון ועוד. ככל שהדימוי מפורט יותר כך זמן המחשוב ארוך יותר וחורג בהרבה מזמן ההתרעה (הזמן שעובר בין היווצרותו של הצונאמי להגעתו לחוף). לפיכך דרוש להכין מבעוד מועד מלאי של תרחישים ממוחשבים כך שאפשר יהיה להיעזר בהם בזמן אמת בהתאם למיקום המוקד של האירוע ומידותיו.

בין המודלים הנפוצים כיום בעולם יש לציין את המודל MOST (Titov and González, 1997) בארה"ב, אשר נקבע כבסיס להרצת תרחישים על ידי המרכז למחקרי צונאמי של NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). דוגמא נוספת היא מודל NAMI-DANCE, שפותח לצורך דימוי והמחשת אירועים בים התיכון (Yalciner et al., 2007), או מודל GeoClaw (LeVeque, 2006), אשר נקלט בשנת 2008 במכון לחקר ימים ואגמים לישראל (גלנטי וחוב', 2009, 2010) ובעזרתו בוצעו מספר תרחישי צונאמי ברזולוציה גבוהה לאזור תל אביב (איור ב' 6) ולמפרץ חיפה (איור ב' 7). בעתיד הקרוב יבוצעו בעזרתו (גרסה משופרת, 2013) הדמיות נוספות של תרחישי צונאמי פוטנציאליים ליצירת בנק תרחישים ומפות הצפה עדכניות ברזולוציה גבוהה. בצד אלה קיימים מודלים שפותחו על ידי חברות ייעוץ פרטיות, למשל (United Research Services Corporation) URS, אשר המודל שלה שימש כבסיס לבניית מפות ראשוניות של סיכוני צונאמי בישראל (Thio, 2009) (איורים ב' 1, ב' 2).

כיום חשופים האוכלוסייה, המבנים והתשתיות לסיכוני צונאמי לאין שעור יותר בהשוואה לעבר. זאת כתוצאה מבינוי עירוני וכפרי נרחב, מתקני נופש וקיט של צבורים גדולים לאורך רצועת החוף והתרחבות חסרת תקדים של תשתיות חופיות (כגון נמלים ותחנות כוח). עיקר הבינוי והפיתוח נעשו לפני התערורת המודעות לסיכוני צונאמי בשנים האחרונות, וחלקו הגדול בוצע ללא התייחסות לסיכונים האלה.



אורך ב' 6 : מפת הצפה מרבית (ימין) ונסיגה מרבית (שמאל) באזור תל אביב כתוצאה מפונאמי בעקבות רעידת אדמה ליד כרתים במגניטודה Mw 8.4 (בעקבות תרחיש המוצג אצל גלנטי וחובי, 2009)



איור 7: גובה גל מרבי (ימני) ומפת חאפה מרביית (שמאל) בעמק זבולון כתוצאה מצונאמי בעקבות רעידת אדמה ליד כרתים במגניטודה 8.4 Mw (גלטי וחובי, 2009)

תכיפותם הממוצעת של אירועי צונאמי באגן המזרחי של הים התיכון היא אחת ל-100 שנה, ובחופי ישראל אחת לכ-200 שנה, כאשר בחלק מהמקרים השפעת האירוע אינה אחידה לאורך החוף (Salamon et al., 2007). ניתוח כמותי ראשון של תרחישי צונאמי בישראל התמקד בגובה הגל הצפוי מרעידת אדמה, וזמן המחזור שלו (Miloh and Striem, 1978). פרמטרים אלה חושבו גם לגבי צונאמי שמקורו בגלישה תת-ימית (Striem and Miloh, 1976) – עבודות חלוציות לזמנן. בשנים האחרונות נעשה ניתוח פרטני של מגוון תרחישים (גלנטי וחובי, 2009, 2010, Thio, 2009) ושורטטה מפה של האזורים המועדים להצפה לאורך חופי מפרץ חיפה, גוש דן ואשדוד-אשקלון (סלמון, 2009). המפה מלמדת שאזורים נמוכים ושטוחים בקרבת הים, כגון פתחי הנחלים ירקון וקישון, יוצפו למרחקים גדולים בהשוואה לרצועת החוף שלמרגלות צוקי החוף (איור 3 בגוף הדוח).

ב' 3 תיאור הסכנה (hazard) וקביעת המדיניות להתרעה מוקדמת מצונאמי

הסכנה (hazard) הנובעת מצונאמי תלויה בעיקר בפרמטרים כגון עוצמת הגורם היוצר אותו, התבליט של מדרון ומפתן היבשת ושל החוף, וכמובן מצב הים ומועדיו, כאשר האיום גובר בעת סערה וגאות וקטן כאשר הים שקט ובשפל. הסיכון (risk) למתקני תשתית וליישובי החוף ואוכלוסייתם תלוי במידת חשיפתם (exposure) ופגיעותם (vulnerability) ובעיתוי האירוע, כפי שכבר צוין קודם לכן.

ב' 3.1 ספקטרום אירועי הצונאמי הצפויים בישראל

ב' 3.1.1 ניסיון העבר

על בסיס אירועי העבר, מוערך כי למעלה ממחצית מאירועי הצונאמי בישראל עלולים להתרחש לאחר רעידת אדמה יבשתית חזקה, ממגניטודה 6 ומעלה, אשר תגרום לגלישה תת-ימית במדרון היבשת של ישראל והגלישה תגרום לצונאמי, כאשר הסיכוי לצונאמי גדל עם המגניטודה של הרעידה. לא ניתן לחזות מראש מה יהיה גובהו של הצונאמי והיכן תתרחש הגלישה, אך הפגיעה של הצונאמי שייווצר צפויה לאורך כל החופים בישראל. גורם משמעותי נוסף להיווצרות צונאמי הינו אירוע רעידות אדמה במגניטודה 7 – 7.5

ומעלה באזור קפריסין – כרתים (הקשת ההלנית). במקרים אלה גובה הגל יחסי למגניטודה, כאשר האירוע החמור ביותר צפוי מרעידה בקשת ההלנית במגניטודה 8.5 לערך. אירועים מסוג זה, לרבות עמוקים יותר, עלולים לגרום לגלישת קרקע תת ימית במדרון היבשת הישראלי או מול הדלתה של הנילוס ולגרום לצונאמי גם בדרך זו.

בהסתמך על עדויות שכאלה נבנתה תמונת אירועי צונאמי, אשר פקדו את חופי ישראל ומזרח הים התיכון בתקופות היסטוריות, והוערכה חומרתו של כל אחד מהם. בהתאם לכך נבנתה תבנית של הגורמים לצונאמי בישראל ותרומתו הפוטנציאלית של כל אחד מהם, לרבות תקופת החזרה הממוצעת (average return period), וכן ממדי התרחיש החמור ביותר (worst case scenario) (טבלה ב' 1). מידע זה מאפשר לדמות תרחישים ולהעריך כמותית את סיכוני הצונאמי (Salamon, 2011). ניתוח פרטני של הדיווחים ההיסטוריים (Salamon et al., 2010) מלמד שברוב המקרים (20 מ-22) ניכרו שינויים במפלס הים לאורך החוף ובנמלי הים שלאורכו. נזקים ואבדות בנפש בערי חוף ובנמלים תוארו בשליש מאירועי הצונאמי (טבלה ב' 2).

ב' 3.1.2 ניתוח סיסמוטקטוני ובתימטרי

ניתוח רעידות אדמה ומקורותיהם הטקטוניים מצביע על זמני חזרה ארוכים בהרבה מחלון המידע ההיסטורי ולכן צריך להתחשב בטקטוניקה ובבתימטריה של מזרח הים התיכון כדי לזהות מקורות אפשריים לצונאמי גם אם אין לכך עדויות ישירות ואף עקיפות. הכרת המאפיינים הגיאומטריים של המקורות הללו מאפשרת לכמת את הממדים של הגורמים לצונאמי (מיקום, מגניטודה, עומק ומנגנון מכאני של רעידת האדמה, מיקום, ונפח של גלישת הקרקע), וזה יכול להיות בסיס להרצת מודלים והערכה כמותית של ממדי הצונאמי גם אם הוא לא התרחש עדיין. מידע זה מאפשר להעריך את מקרי הקיצון הפוטנציאליים, כמו גם את האירועים החלשים יחסית אשר חשוב להכירם כדי שלא להגזים יתר על המידה בחומרת ההתרעה במידה ויתרחשו.

ב' 3.1.3 ספקטרום האירועים החזויים

סיכום המידע ההיסטורי והניתוח הטקטוני-בתימטרי, מאפשר להציג את ספקטרום אירועי הצונאמי האפשריים. ניתן לסווג את האירועים הללו באופן הבא:

(א) על פי הגורמים לאירוע (טבלה ב' 1): רעידות אדמה באזור הקשת ההלנית (כרתים והים האגאי); רעידות אדמה לאורך הקשת הקפריסאית, אם כי עד היום לא ידוע על צונאמי אשר הגיע לחופי ישראל משם; רעידות אדמה חזקות (מגניטודה 6.5 - 6 ומעלה) לאורך סעיפים של מערכת העתקי בקע ים המלח, אשר יוצאים אל הים התיכון (כדוגמת העתק לבנון, כפי שהוצע עבור רעידת האדמה ואירוע הצונאמי משנת 551 לסה"נ בעקבותיה – Elias et al., 2007); וגלישות קרקע תת-ימיות במדרון היבשת, אשר התחוללו בעקבות רעידות אדמה יבשתיות. אלה האחרונים הם אירועי הצונאמי הנפוצים ביותר בישראל ולאורך החוף המזרחי של הים התיכון (שלם, 1956; Almagor and Garfunkel, 1979; Ambraseys and Melville, 1988; Ambraseys and Barazangi, 1989; Arieh, 1989). גם גלישות תת-ימיות באזור הדלתה של הנילוס עשויות לחולל צונאמי מסוג זה, אם כי טרם נצפו או דווחו אירועים שכאלה.

(ב) ניתן לסווג את אירועי הצונאמי בישראל גם על פי זמן ההתרעה הצפוי, שהוא תלוי במרחק מהחוף. כך ניתן להבדיל אירועים מקומיים מאלה שבאים ממרחק. רעידת אדמה ממקור קרוב (ככל הנראה מעוצמה 6 ומעלה) עלולה לבשר צונאמי, אם כי לא בכל המקרים אכן נוצר צונאמי. גלי צונאמי מאירועים רחוקים (ככל הנראה מעוצמה 7 ומעלה), המתחוללים במזרח הים התיכון או בים האגאי, יגיעו לחופי ישראל לפחות כחצי שעה לאחר האירוע – זמן מספיק להתרעה.

טבלה ב' 1: המאפיינים של המקורות הפוטנציאליים לצונאמי באגן המזרחי של הים התיכון

הטבלה מבוססת על מידע היסטורי, סיסמוסקוטוני ובתימטרי קיים והערכה מקצועית לפי הצורך. זמני החזרה שמרניים (מתמריים) וכויל על פי מידע היסטורי ועכשווי. האירועים ההיסטוריים מצוינים בעמודה השמאלית לצורך בדיקה ואימות. הטבלה מעובדת מתוך: Thio (2009) וגלטי וחובי (2009, 2010).

אזור	המקור לצונאמי	קצב משוער של החזרה בזמן (שנים)	הערות ומקורות ספרות	אירועי עבר שפגעו בישראל ממקור זה
שולי היבשת של ישראל	גלישה תת-ימית כתוצאה מרעידת אדמה יבשתית או ימית, במגניטודה 6 ומעלה לערך, במרחק עד 100 קמ' מהחוף	גלישה גדולה: 1:100,000 גלישה קטנה: 1:300	נרשמו תמוישה אירועים במגניטודה 6 ומעלה במאה האחרונה בקפריסין וסביבתה (עפי"ו, 2003, Salam et al., 2003), שלשה מהם בים וכמה מהם במגנון גוירא אופקית. רק האירוע של 1953 יצר צונאמי מקומי	115?, 746, 1033, 1068, 1202, 1546, 10/1759, 11/1759
הקשת הקפריסאית	רעידת אדמה	$M \geq 6$ 1:100	על פי: (2008) Shaw et al. האירוע בשנת 365 לסה"ע היה במגניטודה 8.3 – 8.5, במגנון לחיצה, בזמן הזרה משוער של אחת ל-5,000 שנה. במידה וכל הקשת החלנית מאופיינת באירועים מסוג זה, אזי זמן החזרה הוא אחת ל-800 שנה. (2009) Papadopoulos et al. האירועים שני אירועים (365, 1303) במגניטודה 8 – 8.3 לערך באלפיים שנה.	לא ידוע 1303 לסה"ע
כרתים ודרום מזרח הקשת החלנית	רעידת אדמה	$M \geq 8$ 1:800-1,000	צונאמי הריסני בים האגאי בעקבות רעידה במגניטודה 7.5 בשנת 1956. גלי הצונאמי נרשמו במל עכו בישראל.	
הים האגאי	רעידת אדמה גלישה תת-ימית התפרצות וולקנית	?	לדעתם של (1999) Papadopoulos and Perissoratis ו- (2009) al. מקור הצונאמי במגנון משולב של רעידת אדמה וגלישה תת-ימית.	1956 העדריות לצונאמי בישראל מאירוע הסטטורני אינו חד משמעיות

אזור	המקור לצונאמי	קצב משוער של החזרה בזמן (שנים)	הערות ומקורות ספרות	אירועי עבר שפגעו בישראל ממקור זה
הזלתה של הנילוס	גלישה תת-ימית	1:10,000	לחערכתו של, Garziglia et al. (2008), גלישות באזור חרוזטה בנפח של 3 – 500 קמ ³ מתרחשות בקצב של אחת ל-27,000 שנה.	לא ידוע
מול חופי מצרים	רעידת אדמה	?	התיעוד המודרני במאה האחרונה מלמד על שני אירועים במגנטטודה 6 ללא צונאמי	לא ידוע
העתק בירות	רעידת אדמה	M7.5 1:1,500	לדעתו של: (2007) Elias et al. מדובר באירוע אחת ל – 1,500 – 1,750 שנה.	551 לס'ה"ע
איטליה, סיציליה (מסינה)	רעידת אדמה	M7.5 1:~1,000	בעקבות (2004) Valensise ו- (2007) Barbano et al. הצונאמי מהרעידה בשנת 1908 הגיע עד למערב מצרים, (Ambraseys, 1962).	לא ידוע
איטליה, סיציליה (אטנה)	גלישה מהיבשה לים	1: >10,000	בעקבות (2006a, b, 2007) Pareschi et al.	~8,000 לפני זמננו

הערות: הערכת זמני החזרה הממוצעים מבוססת ככל האפשר על הכרונולוגיה של אירועי הצונאמי, וזה מיותר בשלב זה את הצורך לבחון את היחס והקשר שבין מספר רעידות האדמה למספר אירועי הצונאמי (רק חלק מרעידות האדמה אכן מייצרות צונאמי). הגורמים לצונאמי במחצית המאה השנייה לפני"ס בין צור לעבר ובשנת 20 לפני"ס בצפון סיני אינם ידועים.

ב' 3.1.4 תנאי הסף להיווצרות צונאמי בישראל

הכרת אירועי העבר והגורמים האפשריים לצונאמי במזרח הים התיכון מאפשרת להגדיר מהם תנאי הסף של רעידות האדמה שיכולות ליצור צונאמי ובהתאם לכך גם להוציא אזהרות והתרעות לצונאמי מבעוד מועד. התנאים הייחודיים בישראל מלמדים על שני הגורמים והתנאים העיקריים הבאים לצונאמי:

א. צונאמי מגלישות קרקע

גלישות תת ימיות לאחר רעידות אדמה במגניטודה 6 ומעלה לערך, שמרחק המוקד שלהן מהחוף אינו עולה על כ- 100 קמ'. אין משמעות עקרונית למנגנון המכני של הרעידה אלא רק לתאוצת הקרקע שתניע את הגלישה ומכאן שגם רעידות אדמה יבשתיות הקרובות לים יכולות לחולל צונאמי.

יתכן גם מקרה של גלישת קרקע במדרון היבשת של דלתת הנילוס מול תעלת סואץ, עקב הזרימה המוגברת של מי ים 'כבדים' (המים הזורמים ממפרץ סואץ לים התיכון דרך התעלה מלוחים יותר ועל כן צפיפותם גבוהה יותר) לאורך המדרון התת ימי של הדלתה, אשר עלולים לחתור במדרון וליצור גלישה של מסת הסדימנט שמעל. הגלישה עלולה להיווצר כתוצאה מאי יציבות סטטית ואף כתוצאה מרעידת אדמה חזקה באזור, והיא צפויה ליצור גלי צונאמי.

ב. צונאמי מרעידת האדמה

רעידות אדמה בים התיכון, ממגניטודה 7 ומעלה. ברעידות אדמה ימיות גובה הצונאמי יחסי בקרוב למגניטודה, וכדי שיווצר גל צונאמי המוקד של רעידת האדמה צריך להיות רדוד יחסית וקרוב לפני קרקעית הים (עד לעומק של כ-100 ק"מ מתחת לפני קרקעית הים) אך גם במצב כזה לא תמיד נוצר צונאמי.

ב' 3.1.5 אירועי קיצון

בדרך כלל, כאשר קיים סיכון גבוה מאוד אך נדיר בזמן והמשאבים הנדרשים להתכונן לקראתו מוגבלים, מגדירים את סף הסיכון שמוכנים להיערך עבורו באופן סטטיסטי. זוהי למעשה החלטה חברתית – כלכלית - מוסרית במהותה. במצבים כאלה מעוניינים לדעת

מהו ספקטרום הסיכונים האפשרי, ובפרט מהו הסיכון החמור ביותר (worst case scenario). הניסיון בסומטרה 2004 וביפן 2011 הראה שהסיכון החמור ביותר אכן עלול להתרחש (איור ב' 8).

בישראל מתייחסים בגישה זו לרעידות אדמה, כאשר התקן הישראלי לבניה רגילה ת"י 413 מנחה לבניה עמידה לרעידת אדמה שלגביה קיימת הסתברות של 10% בלבד, שרעידה חזקה ממנה תתרחש לפחות פעם אחת בתוך תקופה של 50 שנה (תקופת זמן חזרה ממוצעת של כ- 500 שנה). במילים אחרות, בונים ברמת ביטחון של 90% ל- 50 שנה ונשארים חשופים לסיכון של 10% באותו פרק הזמן. במקרה של מתקנים המחזיקים חומרים מסוכנים, המדינה החליטה להחמיר בדרישות ולאפשר חשיפה ברמה של 2% בלבד ל- 50 שנה (אירוע ב- 2,500 שנה). לצורך מסגרת להיערכות לקראת רעידת אדמה, החליטה ממשלת ישראל לקבל על עצמה סיכון של 5% ל 50 שנה (במקרה זה מדובר בהסתברות לנזק ולא אירוע), אירוע המקביל באופן גס להתרחשותה של רעידה במגניטודה 7, אחת ל 1,000 שנה.

המידע ההיסטורי והגיאולוגי הקיים לגבי צונאמי מאפשר להעריך באופן ראשוני מהם אירועי הקיצון האפשריים ומהם האירועים בעלי תקופת זמן חזרה ממוצעת של 1,000 שנה, בדומה למתווה להיערכות לרעידות אדמה. על כן מוצע לקבוע את אירוע הייחוס עבור צונאמי בישראל בדומה לזה של רעידות אדמה, להריץ תרחיש ממוחשב ולהציג את ממצאיו בעזרת מפות גובה גל בקו החוף והצפה לתוך היבשה.

בשלבם מאוחרים יותר, מומלץ לבחון גם תרחישי צונאמי קיצון, כמו גם השפעתם האפשרית המשולבת של אירועי צונאמי בשילוב סערות, רוחות, ושיטפונות. כך ניתן יהיה לאמוד את המעטפת הקיצונית יותר של אירוע צונאמי במשולב עם מצב מטאו-ימי קיצון.

ההסתברות לצונאמי כתוצאה מהתפרצות וולקנית או פגיעת אסטרואיד נראית נמוכה מאוד בהשוואה לאירועי צונאמי מרעידות אדמה וגלישות תת ימיות ולעת עתה הינם בעדיפות נמוכה יותר ללימוד והתייחסות.



איור ב' 8: תהליך ההצפה מצונאמי בנמל מיאקו, יפן, באירוע הגדול, מרץ 2011. ארבעת התמונות העליונות מתארות שלבים בהצפה תוך ציון לוח הזמנים, החל מרעידת האדמה (1) בטרם הגעת הצונאמי, גלישת המים מעל למחסום ההגנה מצונאמי (2), תחילת הצפה (3) ושיא ההצפה (4). שתי התמונות התחתונות מתארות נזקים ואש שהתלקחה במהלך האירוע.

ב' 3.1.6 ההסתברות להתרחשות אירועי צונאמי בישראל

הניסיון ההיסטורי והתהליך הגיאולוגי מלמדים שרעידות אדמה, גלישות תת-ימיות וצונאמי הן תופעות אקראיות החוזרות על עצמן אך אינן מסודרות בזמן וניתן לאמוד אותן באופן סטטיסטי בלבד. חלון הזמן ההיסטורי מוגבל ל 2,000 שנה ומאפשר להעריך את זמני החזרה של אירועי צונאמי כפי שהתרחשו בפועל, גם מבלי להידרש להבנה מעמיקה של המנגנון המכאני שיצר את הצונאמי. המידע הגיאולוגי מאידך, מאפשר להרחיב את חלון הזמן לניתוח הסיכון, הפעם על בסיס עדויות עקיפות (למשל, שרידי גלישה תת ימית גדולה) ומתוך הבנה של מנגנון היצירה של הצונאמי אך ללא עדות ישירה לאירוע מסוים.

סיכום המידע מאפשר לקבוע שצונאמי מגלישות תת-ימיות שעלול לפגוע בחוף הישראלי מתרחש אחת ל- 250 שנה לערך, כאשר שני האירועים המשמעותיים האחרונים במזרח הים התיכון התרחשו בשנת 1759 בתוך חודש אחד! אירועי צונאמי החמורים מרעידות אדמה התרחשו בקשת ההלנית אחת ל- 800 עד 1,000 שנה, האחרון שבהם ארע בשנת 1303.

ב' 3.2 מאפייני הצפה ונסיגה אפשריים מצונאמי בישראל

ב' 3.2.1 מידע היסטורי

המידע הכמותי בדיווחים ההיסטוריים על גובה צונאמי בישראל מועט ביותר ומוגבל לזמן האירוע פחות או יותר ופרישתו הגיאוגרפית. התיאור לגבי התנהגות הים גם הוא מצומצם ואיכותי בלבד וכך גם לגבי גובה הגל, לבד מדיווח היסטורי על הצפה ברחובות עכו לגובה של 2.5 מטרים באירוע משנת 1759, אך לא ידוע באיזה רחובות ומה היה גובה הרחובות או גובה הגל ביחס לפני הים. כמו כן קיים דיווח משנת 1303 המתאר הצפה בעכו עד לתל אל פודול ומגדל דיין, אך לא ברור היכן הם מצויים כיום. לאחרונה דווח על מציאת משקעי צונאמי בחפירות ארכיאולוגיות באזור היבשתי של קיסריה העתיקה (Goodman-Tchernov et al., 2013), ככל הנראה בגובה של 9 מטרים מעל פני הים (Goodman-Tchernov, שיחה בע"פ, 2014).

בהעדר מידע נוסף ניתן להתבסס על תרחישים ממוחשבים ואלה אכן מלמדים על ייתכנות פגיעת גלי צונאמי בחופי ישראל בים התיכון וגם במפרץ אילת, ומאפשרים הערכה כמותית לגבי רומי ההצפה המרביים ותחום ההצפה בחופים נמוכים ובמוצאי נחלים.

ב' 3.2.2 רום והצפה מרביים הצפויים בישראל במצב ים רגיל

עד כה לא נמצאו עדויות או מידע ישירים באשר לרום והצפה מרביים מצונאמי בישראל והאפשרות לקבל מושג כמותי באשר לכך הינה בעזרת מודלים ממוחשבים של המקרה החמור ביותר. כאמור, מידע ראשוני קיים אצל Thio (2009) אשר בצע מספר תרחישים מייצגים לצונאמי במזרח הים התיכון ומבניהם ניתן לאתר את תרחישי הקיצון. מפות הסיכון הראשוניות שערך סלמון (2009) ואשר מתבססות על עבודתו של Thio, משרטטות את גבול האזור המועד להצפה מאירועי קיצון אלה. יחד עם זאת חשוב לציין שתרחישים אלה מבוססים על בתימטריה וטופוגרפיה ברזולוציה נמוכה יחסית (כ- 35 מ' אורך צלע הסריג). במסגרת הכנת בנק תרחישים למערכת תומכת החלטות להתרעה מצונאמי (גלנטי וחובי, 2009, 2010), בוצעו מספר תרחישי צונאמי ברזולוציה גבוהה וניתנו גם מפות ההצפה ורום מרביים באזור מפרץ חיפה ובחופי תל אביב.

ב' 3.2.3 מסגרת להיערכות מדינת ישראל לצונאמי

כערך ביניים, עד השלמת ההרצות של תרחישי ייחוס מתקדמים יותר, נקבע ע"י יו"ר ועדת ההערכות של מדינת ישראל לרעידות אדמה טווח הצפה מרבי כפי שסומן במפות הסיכון הראשוניות שהוכנו ע"י המכון הגיאולוגי (סלמון, 2009) על בסיס הדמיות שהורצו על ידי חברת URS (Thio, 2009), והשלמת הטווח במקומות החסרים (ראש הנקרה – עכו; עתלית – הרצליה; בת ים - אשדוד) על ידי קו גובה +5 מ' מעל אפס האיזון הארצי במצב ים שקט וללא התחשבות במועדי הים¹⁵, כפי שנערך על ידי מפ"י. המפות פורסמו על ידי ועדת ההיגוי הבין-משרדית להיערכות לרעידות אדמה.

¹⁵ על פי המדריך היפני להדמיות צונאמי (Japan Institute of Construction Engineering, 2007) מומלץ להריץ תרחישים עם מפלס במצב גאות חודשית מרבית ממוצעת. זה יכול להיות בסדר גודל של כ-30 עד 40 ס"מ גבוה יותר ביחס לאפס האיזון הארצי בישראל.

ב' 3.3 גורמים אשר עשויים להשפיע על רום והצפה מצונאמי בישראל¹⁶

מועדי הים ומצב הים (נד גלים ורוח), שיטפונות בנחלים המתנקזים לים ועליית מפלס הים בהשפעת שינוי האקלים, עשויים להשפיע על רומי ההצפה ושטחי ההצפה הצפויים כתוצאה מצונאמי. הערכה ראשונית לגבי השפעתם האפשרית של הגורמים הללו לאורך חופי הים התיכון בישראל מתוארת להלן:

- א. מצב מועדי הים: הטווח השכיח של מועדי הים הינו כ-0.20± מ', אך הערכים המרביים עם תקופת חזרה ממוצעת של 100 שנה יכולים להיות של +1.10 מ' גאות ו-0.70 מ' שפל (Rosen, 1998).
- ב. מצב הים: הערמות פני הים בשפת הים מושפעת מגובה גלי הרוח וככל שהם גבוהים יותר, גם היא גבוהה יותר. כמו כן נשיבת רוחות מערביות בעת סערות חזקות (נד רוח) תגרום להערמות ברום פני הים בחוף, ולעומת זאת בעת רוחות מזרחיות בעונות המעבר, נוצרת שפילה קטנה ברום פני הים באזור החוף. המידע הקיים מאפשר להעריך כי בעת סערות גלים חזקות מערביות השכיחות כל חורך ובשילוב רוחות מערביות, יכולה להתקבל הערמות ברום פני המים בחוף של כ-0.50 מ', ואילו באירועי קיצון של סערות גלים ורוחות עם תקופת חזרה ממוצעת של כ-20 שנה מתקבלת הערמות ברום פני המים בחוף בסדר גודל של כ-2.0 מ'.
- ג. שינויי אקלים: הערכות עדכניות (Rosen, 2010, Rosen and Raskin, 2014) מלמדות כי מפלס הים התיכון לאורך חופי ישראל עלה בעשרים השנים האחרונות (מאז 1992) ב-0.13 מ'. הצפי לשנת 2040 הינו עליית מפלס נוספת של כ-0.4 מ' ולשנת 2100 מוערך כי יעלה ב-0.6 מ' נוספים, כלומר עליה של המפלס הנוכחי במטר ואולי מעט יותר עד סוף המאה הנוכחית. ככלל, זוהי עלייה איטית מאוד, סדר גודל של כסנטימטר לשנה, והשלכותיה במקרה של צונאמי אינן משמעותיות לטווח השנים הקרובות.

¹⁶ סעיף זה מקביל לסעיף 2.6 המופיע בגוף הדוח

ד. שיטפון יבשתי: הדאגה מצונאמי בזמן שיטפון יבשתי נובעת מהערמות מים חריגה במוצא הנחלים לים והרחבת התחום המועד להצפה. אולם, ההסתברות שאירוע שיטפוני אכן יתרחש בחפיפה עם אירוע צונאמי הינה נמוכה (מכפלת ההסתברויות של שני סוגי האירועים).

מאחר וחלק מהשינויים במפלס הים מחזוריים (מועדי הים), חלק בלתי צפויים (מצב הים, שיטפונות), וחלק אחר משתנה לאורך הזמן (עליית מפלס כתוצאה משינויי אקלים), לא ניתן לחזות מראש מה תהיה השפעתם הכוללת באירוע של צונאמי – אשר גם את מועדו וממדיו לא ניתן לצפות מראש. מוצע על כן לייחס את גובה הצונאמי לרום "פני מים גבוהים" הסטטוטורי כפי שנקבע בחוק החופים ל- 0.75 מ' מעל רום אפס האיזון הארצי, ובעתיד לעדכן גובה זה על פי רום עליית מפלס הים.

ההערכה המוצגת לעיל הינה ראשונית בלבד וחשוב להשלימה בעזרת תרחישים ממוחשבים בהם תיבחן השפעת הגורמים הללו על גובה הצונאמי בקרבת החוף ועל מידת ההצפה בחוף ותתברר משמעותם. במידת הצורך יידרש לעדכן את הערכת הסכנה מצונאמי בהתאם.

ב' 3.4 נזק מצונאמי

ב' 3.4.1 דיווחי נזק באירועים היסטוריים

מידע על נזקים מצונאמי בישראל מצוי בדיווחים ההיסטוריים (טבלה ב' 2), אך אלה תיאוריים במהותם וככל הנראה חלקיים. התיאורים מלמדים כי למרות שבמרבית האירועים נצפו שינויים חריפים במצב או מפלס הים, הרי שרק בשליש מהמקרים נגרם נזק בנמלים ו/או בערי חוף ובשליש אחר נגרמו פגיעות בנפש (אין חפיפה מלאה בין האירועים בהם נזק לבין האירועים בהם נגרמו אבדות בנפש). באירוע המודרני היחיד שתועד בישראל בשנת 1956 לא נגרם כל נזק ולא היו נפגעים בנפש.

למרות שמרבית האירועים ההיסטוריים לא גרמו לנזק חמור בישראל, אין להסיק מכך שהסיכון בימנו הינו נמוך. חוף הים המודרני מאכלס תשתיות כבדות לאורכו ובפרט ליד נמלים ותחנות כוח, מגורים בקרבת הים נפוצים מאוד, ותרבות הפנאי והספורט הימי גם

הם בפריחה שלא נודעה בעבר. על כן, גם אם הסכנה (hazard) לא השתנה עם הזמן, הרי שמצאי המבנים והתשתיות כמו גם נוכחות בני אדם לאורך החוף, עלו בצורה ניכרת (vulnerability), ולכן גם הסיכון (risk) עלה מאוד. על כן לא ניתן להמעיט בהערכת הסיכון העתידי מאירועי צונאמי מבלי להעריכו באופן מקצועי וכמותי.

טבלה ב' 2: נזקים שדווחו באירועי צונאמי היסטוריים

אובדן חיי אדם ב...		נזק ב...		שינויים במצב או מפלס הים ב...		אירוע הצונאמי
חופים וערי חוף	נמלים	חופים וערי חוף	נמלים	חופים וערי חוף	נמלים	
		חצי העיר אוגריט נהרסה				1365±5 לפנה"ס
אנשים נסחפו וטבעו				גל גבוה בין צור ועכו		מחצית המאה השנייה לפנה"ס
				הים התרומם בין אלכסנדריה ופלוסיום		20 לפנה"ס
			קיסריה?			115 12 13
הדלת של הנילוס	אלכסנדריה	הדלתה של הנילוס	אלכסנדריה	+	+	* 365 07 21
פניקיה	בערי פניקיה, בירות	בערי פניקיה	בערי פניקיה, בירות	הים נסוג וחזר	הים נסוג וחזר	551 07 09
		מרבית הערים והכפרי נהרסו		גלים התרוממו לשמים		746 01 18
				הצפה בחוף		803 06 23
					המים בעכו נסוגו למשך שעה	1033 12 05 (1034 01 04?)
				הים בקיליקיה, הים גאה הלך ושוב		בין 1036 03 12 לבין 1037 03 11
הרבה אנשים נסחפו				בפלשתינה, הים נסוג וזרם בחזרה		1068 05 29
+		נזק חמור למגדלורים	אניות הושלכו על החוף	גלים עצומים התרוממו בין קפריסין וסוריה		1202 05 20
		פאפוס ולימסול הוצפו לחלוטין		הים בין פאפוס ולימסול נסוג מהחוף	פאפוס יבשה לחלוטין	1222 05 11
אנשים שהלכו לאסוף חפצים מהים נסחפו וטבעו				הים נסוג והציף את עכו		* 1303 08 08
		ספינות הוטלו על היבשה אך לא ניכר נזק		גאות גבוהה לאורך מערב סוריה		1408 12 29
הרבה אנשים				הים נסוג מהחוף של דרום פלשתינה וחזר		1546 01 14
		לא ניכר נזק		גל ים הציף את עכו	גל ים הציף את הרציפים בטריפולי (לבנון)	1759 10 30
כמה הרוגים בעכו		אין נזק בדלתה של הנילוס	בעכו ספינות נזרקו על החוף	גל ים ניכר עד לדלתה של הנילוס		1759 11 25
					הים הציף רציף באלכסנדריה	1870 06 24
				הים הציף את חופי מערב סוריה		1872 04 03
		אין נזק בלבנט		צונאמי נצפה באזור אלכסנדריה		* 1908 12 28
		אין נזק		סדרת גלי גאות בקפריסין		1953 09 10
8 אירועים 36%	2 אירועים 9%	7 אירועים 32%	4 (5) אירועים 18%	18 אירועים 82%	6 אירועים 27%	מספר האירועים, אחוז מתוך 22
8 אירועים 36%		7 (8) אירועים 32%		20 אירועים 91%		

ב' 3.4.2 נזקים לתשתיות בישראל

פגיעת הצונאמי מתבטאת לא רק בהצפת שטחים ביבשה, אלא גם בפגיעה פיזית עקב מהירות הזרימה הגבוהה של המים לאורך החוף ובקרבתו, היוצרת על המבנים בנוסף לכוחות הידרוסטטיים גם כוחות הידרודינמיים. כך למשל, מהירות הזרם הצפויה מהצונאמי עלולה להגיע ל- 5 עד 10 מ'שני, ככל הנראה כפליים ממהירות הזרם שחושבה במצב שרידות שעברו תוכננו ראשי היניקה של מתקני ההתפלה בישראל (הכוחות ההידרודינמיים המופעלים יחסיים בקרוב לריבוע מהירות הזרימה, כלומר הם גבוהים לפחות פי 4 מאלה שנלקחו למצב שרידות). זאת ועוד, פגיעה בחוף צפויה גם כתוצאה מהזרימה המהירה וההצפה אשר יכולים לגרום לגריפה, סחיפה והשקעה מאסיבית של סלעים, חול, צופת וגרופת (debris) מלאכותיים אשר יכולים לגרום גם לסתימת פתחי ניקוז, מתקני שאיבה, כמו גם לפגיעה פיזית נוספת במבנים ובאוכלוסייה. השפעה נוספת יכולה להיות פגיעה והתמוטטות של מבנים וגשרי בטון עקב שינוי בפילוג המאמצים והמומנטים בקורות הנושאות כתוצאה מהצפתם והיווצרות כוחות עילוי ניכרים שהמבנים המוצפים לא תוכננו לעמוד בהם. עוד יתכנו סחיפת חול מהחוף למים עמוקים ושינוי התבליט של החוף, והצפה במישור החוף שעלולה להמליח את מי התהום באקוויפר החוף באותו האזור.

זאת ועוד, נסיגה משמעותית של הים בשלב הראשוני של האירוע ואף לאחר מכן, עלולה לחשוף משאבות קירור למתקנים חיוניים, התיישבות כלי שיט על קרקעית הים או על היבשה (רציפים, שטחים אחרים), ועוד.

הבנייה בים וברצועת החוף בישראל תוכננה ללא התחשבות בייתכנות כוחות צונאמי, וטרם קיים בארץ תקן לבנייה המתחשב בסיכוני צונאמי. קיימת תקינה הנותנת מענה באופן חלקי במספר מדינות בעולם (יפן, ארה"ב ועוד) ותקינה מתקדמת נמצאת כעת בהכנה ע"י ועדה מיוחדת של אגודת המהנדסים האמריקאית (ASCE) בהשתתפות מומחים בינלאומיים, שפרסומה יהיה בשנת 2016.

הערכת נזק מצונאמי באופן שיטתי וכמותי, בדומה להערכת נזק מרעידות אדמה בעזרת תוכנת HAZUS (Eguchi et al., 2013) או ממ"ג (Tinti et al., 2011) נמצאת בשלבים ראשוניים בלבד. בשנים האחרונות פותחו בעולם עקומות שבירות (fragility curves) מצונאמי כתלות בגובה ההצפה, מהירות הזרימה והכוח ההידרודינאמי של הצונאמי (למשל, Suppasri et al., 2014). עקומות נזק פותחו גם עבור ארצות אירופה והים התיכון (Valencia et al., 2011) ואלה יאפשרו בעתיד הערכות נזק מתקדמות גם בישראל.

ב' 3.4.3 פגיעה בבני אדם

הסכנה לבני אדם מצונאמי נובעת בעיקר מפגיעה, איבוד הכרה ואף טביעה, כתוצאה מזרימה חזקה, מים עמוקים, פגיעה במבנים ועצמים עומדים, או כאלה שנשחפים בזרם ובגלים. תיאור מפורט של גורמי הסכנה מוצג אצל Murata et al. (2009) ועיקרו מסוכם באיור ב' 9 כאן.

הסכנה הראשונה הינה בגלים הנשברים בחזית הצונאמי אשר עלולים לגרום לנפילה וחבטה חזקה בקרקע ובסופו של דבר אף לטביעה. הזרם החזק של המים הנכנסים ליבשה או החוזרים לים, עלול לגרום לאובדן יציבות, נפילה וטביעה, בפרט אם המים עמוקים. מהירות הזרימה של המים גבוהה ממהירות ריצה של בן אדם, לא כל שכן ממהירות שחיה, ועל כן חשוב לברוח מהר, רחוק וגבוה ככל האפשר מאזור החוף, עוד לפני שהנחשול מגיע. בשל מהירות הזרם, לא ניתן להתגבר עליו, ומי אשר נלכד במים כבר לא מסוגל לשלוט על תנועותיו ומיקומו. כבר במים רדודים של כמה עשרות סנטימטר ובמהירות זרימה של 1 מטר לשנייה ניתן לאבד שיווי משקל וליפול, ובמהירות זרם של כחצי מטר לשנייה (קשר אחד בקרוב) כבר לא ניתן לתמרן במים. כל מה שנותר לעשות במקרה זה הוא להיצמד מהר ככל האפשר לעצם צף כלשהו, לשמור כוחות עד יעבור זעם, ולקוות... גם מי שיודע לשחות היטב אין ערובה לכך שינצל. לפיכך, התובנה החשובה ביותר הינה שהצונאמי מסוכן ביותר ואסור להיקלע לתוך המים, זו למעשה שאלה (או החלטה) של חיים ומוות.

ב' 4 רשימת המקורות

המקורות לנספח זה כלולים ברשימת המקורות המופיעה בגוף הדוח.

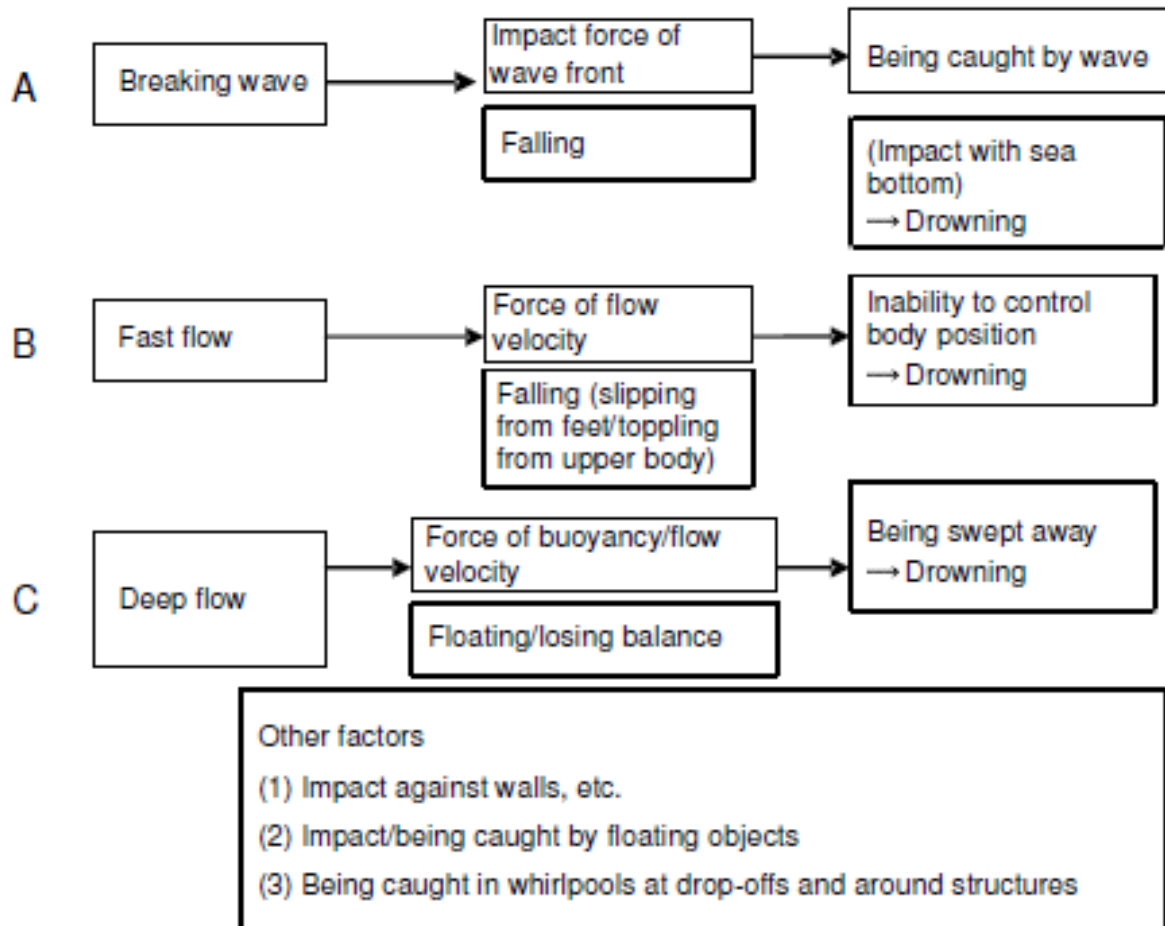
נספח ג' מבנה מערכת ההתרעה מצונאמי במקרה של קבלת הודעות מספקי האזהרה האירופאים של ICG/NEAMTWS למזרח הים התיכון

בעולם נצברו ניסיון וידע רב בתחום התרעה מצונאמי וזה בא לידי ביטוי במבנה ונוהלי עבודה אחידים פחות או יותר של מערכות ההתרעה מצונאמי בעולם. הגוף המנחה לצורך כך היא הועדה הבין-ממשלתית לאוקיאנוגרפיה (IOC) INTER GOVERNMENTAL OCEANOGRAPHIC COMMISSION המורכבת מנציגי המדינות החברות בה והפועלת כזרוע של הארגון הבין-ממשלתי UNESCO (The United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). מערכת ההתרעה מצונאמי בישראל אמורה להשתלב במערכת ההתרעה הבינלאומית מצונאמי לאזור חופי אירופה, הים התיכון והימים המקשרים (ICG/NEAMTWS) לצורך קבלה ומסירת הודעות התרעה, תרגול משותף וחילופי מידע. מסיבות אלה חשוב שהמבנה של המערכת הישראלית יותאם למבנה המקובל בעולם ושיטות העבודה בארץ יעקבו אחר המלצות המוסכמות למערכת של ICG/NEAMTWS.

פרק זה מציג את מבנה מערכות ההתרעה ושיטות העבודה שלהן כמקובל בעולם כפי שהומלצו לביצוע על ידי קבוצת התאום הבין-ממשלתית (ICG) המורכבת מנציגי המדינות החברות ב-IOC, אשר מנהלת את הקמת והפעלת NEAMTWS כמצוין במסמך :

Interim Operational Users Guide for the Tsunami Early Warning and Mitigation System in the North-Eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas (NEAMTWS), Version 2.00, Approved by ICG/NEAMTWS-VIII (Santander, 22-24 November 2011).

Table 2.1 Calculation of human danger due to tsunamis.



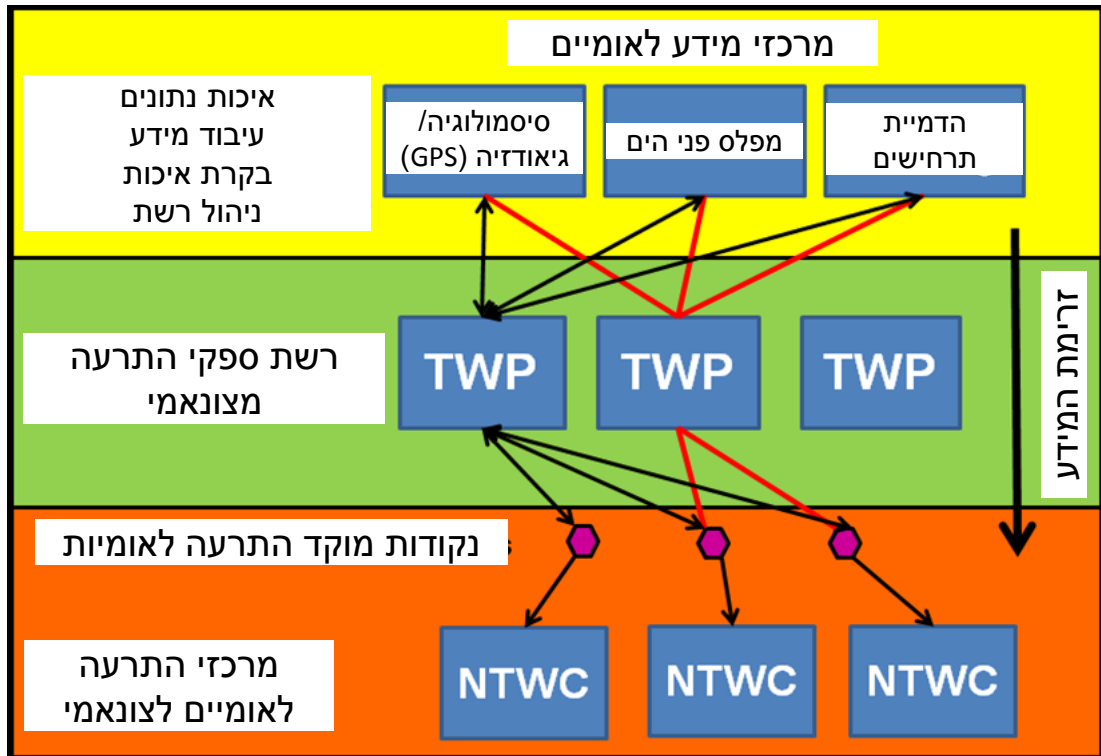
ג' 1 מבנה מוצע למערכת התרעה מצונאמי של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית באירופה-ים תיכון - NEAMTWS

הפעילות של מערכת התרעה זו מרוכזת ומנוהלת על ידי קבוצת תיאום בין-ממשלתית (ICG-INTERGOVERNMENTAL COORDINATION GROUP) המורכבת מנציגי המדינות החברות ב-IOC/UNESCO ונעזרת לוגיסטית במזכירות IOC. ביוני 2005, החליטה האספה הכללית של IOC/UNESCO על הקמת גוף זה, ובנובמבר 2005, החליטו נציגי המדינות החברות בגוף זה להקים את מערכת ההתרעה NEAMTWS. נוהגים לקרוא לגוף זה בשם ICG/NEAMTWS כדי להבדילו מקבוצות תאום בין-ממשלתיות באזורים אחרים של העולם החשופים לצונאמי.

מרכיבי המבנה הבסיסיים של מערכת ההתרעה מצונאמי (TWS-Tsunami Warning System) באזור צפון מזרח האוקיאנוס האטלנטי, הים התיכון והימים המקשרים (NEAM-North-East Atlantic and Mediterranean) הם :

- א. איש קשר (מקשר) לאומי לצונאמי : TNC - Tsunami National Contact
- ב. נציג מוקד התרעה לאומי מצונאמי : TWFP - Tsunami Warning Focal Point
- ג. מרכז התרעה לאומי מצונאמי : NTWC - National Tsunami Warning Center
- ד. ספק האזהרה לצונאמי : TWP - Tsunami Watch Provider

המרכיבים הללו הוגדרו ואומצו על ידי קבוצת התיאום הבין-ממשלתית במפגש השני שנערך בניס, צרפת, בשנת 2006. כל אחת מהמדינות החברות בקבוצה זו התבקשה להציג ל-ICG באמצעות מזכירות IOC הפועלת גם כמזכירות של קבוצת התאום הבין-ממשלתית, את בחירתה לאיש הקשר הלאומי (TNC) ל-ICG ולנציג המוקד הלאומי להתרעה מצונאמי (TWFP). התפקידים, היחסים והקשרים בין המרכיבים של מערכת ההתרעה, מוצגים באיור ג' 1).



איור ג' 1: מבנה אופייני ומסגרת הפעולה של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית להתרעה מצונאמי בים התיכון ואירופה. מעובד מתוך: ICG/NEAMTWS-VIII (2011)

מרכיב ראשי במערכת הינם מספר מרכזים לאומיים להתרעה מצונאמי אשר התנדבו לשמש גם כספקי אזהרה מצונאמי (TWP) למרכזים הלאומיים (NTWC) במדינות החברות בארגון. על מנת שיוכרו באופן רשמי כמוסמכים למלא תפקיד זה, חייבים ספקי ההתרעה (TWP) לעמוד במספר יכולות ודרישות שהוגדרו ע"י ועדת ההיגוי (SC - Steering Committee) של קבוצת התאום הבין-ממשלתית. עד אשר יתמלאו התנאים הללו, הוגדרו הספקים הללו כ-"מועמדים" ל-TWPs (Candidate Tsunami Watch Providers - CTWP). למדינות החברות ישנו החופש להחליט מיהם ספקי ההתרעה שהן מעוניינות לקבל מהם הודעות צונאמי, כאשר מדינה חברה יכולה לקבל מסרים מספק אחד או יותר. המדינה המעוניינת בכך נדרשת למסור ל-ICG באמצעות מזכירות IOC את בחירתה וכן ל-CTWP שנבחרו על ידה. נכון לסגירת הדוח הנוכחי ישנם 3 ספקים מועמדים" ל-TWP (איור 9 בגוף הדוח: תורכיה – KOERI-Kandilli Observatory ; יוון - National Observatory of Athens NOA ; צרפת – CENALT-CENTre d'Alerte aux Tsunami). בשנת 2014 יצטרפו אליהם ככל הנראה גם איטליה ופורטוגל, כאשר איטליה תספק מסרים לגבי מרכז הים התיכון ועדיין לא ברור אם תתייחס גם לאגן המזרחי של הים התיכון.

ג' 1.1 איש קשר לאומי לצונאמי - Tsunami National Contact (TNCs)

המקשר הלאומי (TNC) הוא הנציגה שנקבעה על ידי המדינה החברה בקבוצת התאום הבין-ממשלתית לייצג אותה בתיאום מערכת ההתרעה הבינלאומית מצונאמי ובפעילויות מניעה¹⁷. נציג זה הוא חלק מהפעילים העיקריים של מערכת ההתרעה הלאומית מצונאמי ושל תכנית מערך המניעה. הוא יכול להיות גם נציג המוקד הלאומי להתרעה מצונאמי -

¹⁷ משנת 2006 ועד היום, ממלא אינג'י דב ס' רוזן, מנהל המחלקה לגיאולוגיה ימית ותהליכים חופיים מחקר ימים ואגמים בישראל (חיא"ל), את תפקיד המקשר הלאומי של מדינת ישראל בנושא התרעה לצונאמי - TNC, והוא משמש גם כחבר ועדת ההיגוי של ה-ICG.

TWFP, או נציג ממוסד טכני או מדעי, או מכל גוף לאומי אחר בעל אחריות להתרעה ומזעור הפגיעה מצונאמי.

ג' 1.2 נציג המוקד הלאומי להתרעה מצונאמי - Tsunami Warning Focal Point (TWFP)

נציג המוקד הלאומי להתרעה מצונאמי (TWFP) הוא איש קשר או כל כתובת רשמית אחרת שנקבעה על-ידי המדינה החברה בארגון, זמינים 24/7 לקבלה מהירה והעברה מידית של מידע על אירוע צונאמי (כגון התרעות). נציג זה הוא סמכות החירום הלאומית (הגנה אזרחית או כל גוף אחר האחראי על ביטחון הציבור) או נושא באחריות להעברת מסרים לרשות החירום על מאפייני האירוע (רעידת אדמה או צונאמי), על פי הנוהל הלאומי. נציג המוקד הלאומי מקבל אזהרות בינלאומיות על צונאמי מספקי ההתרעה מצונאמי ב-NEAMTWS. מערכות התקשורת הנדרשות עבור נציג המוקד הלאומי כוללות טלפון קווי, טלפון נייד, פקסימיליה, דואר אלקטרוני ו-GTS, בזמינות 24/7 ועם גיבוי למקרה חירום או כשל בשיטות התקשורת הנבחרות.

לפיכך, תמצית המשימות המוגדרות של הנציג המוקד הלאומי להתרעה מצונאמי הן (טבלה ג' 1):

- א. קבלת ההודעות המשודרות מספקי האזהרה מצונאמי.
- ב. ניתוח של הודעות האזהרה מצונאמי שהתקבלו מהספקים.
- ג. הפצת התרעה לרשויות החירום הלאומיות, בהתאם לתכנית החירום הלאומית.
- ד. תפעול 24/7.

ג' 1.3 מרכז התרעה לאומי מצונאמי - National Tsunami Warning Centre (NTWC)

זהו הגוף הלאומי הנושא באחריות למתן התרעה מצונאמי בארצו. המשימות המוגדרות של מרכז ההתרעה הלאומי מצונאמי הן (טבלה ג' 1):

- א. איסוף, רישום ועיבוד נתוני רעידת אדמה (הערכת מיקום, עומק, מגניטודה וזמן) לצורך מתן התרעה ראשונית מהירה על צונאמי בעת הצורך.
- ב. חישוב זמני ההגעה של הצונאמי בנקודות החיזוי הלאומיות.
- ג. איסוף, רישום ועיבוד נתונים של מפלס הים לצורך אישור היווצרות צונאמי או ביטול ההתרעה מצונאמי.

מרכזי ההתרעה ישאפו להיות:

- א. מהירים - על ידי מתן התרעות מוקדם ככל האפשר לאחר אירוע בעל פוטנציאל ליצירת צונאמי.
- ב. מדויקים - באמצעות מתן התרעות מצונאמי תוך צמצום האפשרות להתרעת שווא.
- ג. אמינים - על-ידי פעילות תקינה ורציפה לאורך זמן (24/7) ופיקוח מתמיד שהמסרים הנשלחים על-ידם מתקבלים על ידי הנמענים מידית והם מובנים על ידי כל משתמשי המערכת.

מרכז התרעה הלאומי מצונאמי (NTWC) יכול לפעול גם כמוקד הלאומי להתרעה מצונאמי (TWFP).

ג' 1.4 ספק אזהרה מצונאמי- (Tsunami Watch Provider (TWP)

זהו גוף שבעיקרו משמש כמרכז התרעה לאומי מצונאמי (NTWC) בארצו ואשר התנדב לספק אזהרות מצונאמי לכל המעוניין מבין המדינות החברות בקבוצת התאום הבין-ממשלתית, ואושר ככזה על ידי ועדת ההיגוי (SC) של קבוצת התאום הבין-ממשלתית. כאמור, המועמדים לכך כעת הם צרפת, טורקיה ויוון, ובקרוב גם איטליה ופורטוגל.

המשימות של ספק אזהרה מצונאמי הן (טבלה ג' 1):

- א. קליטה ועיבוד של מדידות סיסמיות ומפלס פני הים בזמן אמת.
- ב. קביעת הפרמטרים הסיסמיים של רעידות אדמה.

- ג. חיזוי של זמני הגעת הצונאמי (של הגל הראשון) וחומרת (רמת) האזהרה בנקודת חיזוי לאורך החוף כפי שנבחרו מראש על-ידי המדינות החברות.
- ד. החלפת מידע של פרמטרים סיסמיים ושל מפלסי פני הים עם ספקי האזהרה מצונאמי ומרכזי התרעה לאומיים מצונאמי אחרים.
- ה. הפצת מסרי אזהרה וביטול מצונאמי מבוססים על טבלת ההחלטה של רמת האזהרה למרכזים והלאומיים להתרעה מצונאמי ולנציגי המוקדים הלאומיים להתרעה מצונאמי.
- ו. ניטור אחר התפשטות הצונאמי והפצת מידע מעודכן לגבי עוצמתו.
- ז. תפקוד כמרכז לאומי להתרעה מצונאמי (במדינה בה הוא פועל).

ג' 1.5 סיכום התפקיד והדרישות מהגורמים המעורבים במתן התרעה מצונאמי

המושבים החמישי (אתונה, 2009) והשמיני (סנטנדר, 2011) של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית הגדירו את התפקיד והדרישות מהגורמים האחראיים למתן התרעה לצונאמי (נציג המוקד הלאומי להתרעה מצונאמי, המרכז הלאומי להתרעה מצונאמי וספקי אזהרה מצונאמי). דרישות החובה מודגשות בטבלה ג' 1.

הדרישות מהמרכז הלאומי להתרעה מצונאמי של ישראל ("נחשול נצפה"), כפי שמשמע מההמלצות של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית, מסומנות בטבלה זו במסגרת אדומה.

טבלה ג' 1 התפקיד והדרישות עבור ספקי האזהרה, מרכזי ההתרעה הלאומיים ונציגי המוקד הלאומי להתרעה

הדרישות מהמרכז הלאומי הישראלי "נחשול נצפה" מסומנות במסגרת אדומה

Tsunami Watch Providers (TWPs)	National Tsunami Warning Centres (NTWCs)	Tsunami Warning Focal Points (TWFPs)
Roles and requirements	Recommended roles and performances	Roles
<p>Watch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reception and interpretation of real-time seismic and sea-level records • Determination of seismic parameters • Forecasting of tsunami arrival times and level of alert at forecasting point specified by Member States • Exchange seismic and sea level parameters and information with other TWPs and NTWCs • Disseminate watch and cancellation messages based on the alert-level decision matrix to NTWCs and TWFPs • Monitoring of tsunami propagation and disseminate updated information in priority tsunami amplitude records • Function as a NTWC 	<p>Warning/Watch</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reception and interpretation of RT seismic & sea level measurements • Reception of TWP messages • Dissemination of warning and cancellation messages to national authorities according to the national response plan • Monitoring tsunami propagation and update information to national authorities • Determination of seismic parameters • Forecasting of tsunami arrival time, amplitude and run-up for the national coastline • Provision of information to other national TWCs and TWPs • Acting as National Tsunami Warning Focal Point (TWFP) 	<p>Warning</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reception of the messages transmitted by TWPs • Evaluate and issue national warnings in accordance with the National Emergency Plan • Transmission of warning messages to the National Emergency Authorities
<p>Above and beyond watch time</p> <ul style="list-style-type: none"> • Monthly internal tests of the watch system • Actively participate in communication and tsunami exercises • Contribute to training courses in coordination with IOC • Participate actively in, and report to, the ICG and working groups and task teams 	<p>Above and beyond watch time</p> <ul style="list-style-type: none"> • National Tsunami Emergency Plan • National Procedures (SOP), documentation • National tsunami exercises • Catalogue of inundation scenarios • National tsunami data base 	
<p>Requirements</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seismic as well as tsunami/oceanographic expertise • Direct access to a local database of tsunami and large earthquakes • Real-time transmission systems for reception of data • Real-time alert reception and transmission systems including GTS, internet, fax • Operational manual describing procedures and documents for TWRs • Backup and redundant system • 24/7 watch staff • Tsunami modeling capacity for travel time computation 	<p>Requirements</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seismic as well as tsunami/oceanographic expertise • Access to tsunami & large earthquakes data base • Real-time transmission systems for reception of data • Real-time alert reception system - e.g. GTS • Backup/independent power supply • Permanent staff on 24/7 watch • Inundation modelling capacity 	<p>Requirements</p> <ul style="list-style-type: none"> • Operating 24/7

ג' 2 נהלי העבודה של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית ICG/NEAMTWS

ג' 2.1 הודעות צונאמי

העברת הודעות צונאמי ומסרים בין חברי קבוצת התיאום הבין-ממשלתית מתבצעת בצורה של הודעות בעלות מבנה אחיד, שפה משותפת ומילון מונחים אחיד באנגלית. עיקרן יפורט בפרק זה, על בסיס הנוסח המלא הנמצא ב- ICG/NEAMTWS-VIII (2011).

ג' 2.1.1 סוגי המסרים

מסרי צונאמי מתייחסים לכל סוגי המסרים המשודרים על-ידי ספקי האזהרה מצונאמי באזור אחד או יותר שלגביו התנדבו לפקח, והן מיועדות לנציגי המוקדים הלאומיים להתרעה מצונאמי, למרכזים הלאומיים להתרעה מצונאמי, ולגופים לאומיים לניהול בשעת חירום נוספים כפי שהודיע מראש המקשר הלאומי לצונאמי של כל מדינה. תוכן המסרים חייב להכיל את המידע הבסיסי הנדרש על-ידי מרכזים וגופים אלה. אם ישנה סכנה כלשהי באזורי החוף, המסרים הקשורים בכך נקראים **מסרי אזהרה מצונאמי**. ככלל, ישנה שאיפה שמסרי הצונאמי לסוגיהן יהיו דומים בצורתם ותוכנם בכל העולם, על מנת ליצור אחידות, לצמצם אי הבנות ולמנוע בלבול ככל האפשר.

חשוב לציין שהאחריות על מתן התרעה מצונאמי נתונה בידי הגורם הלאומי הרשמי במדינתו ולא על ספקי האזהרה הבינלאומיים מצונאמי! ספקי האזהרה אומנם התחייבו לעשות ככל שביכולתם כדי לספק אזהרה באופן הטוב ביותר, אך הם אינם נושאים באחריות כלשהי לגבי מדינה אחרת מלבד עצמם.

מסרי הצונאמי כוללים כבר בתחילתם שלושה תכנים עיקריים של המידע הנדרש על ידי סוכנויות הניהול לשעת חירום בדבר הסיכון: **דחיפות, חומרה וודאות** (ראה טבלה ג' 2). המידע הנדרש ופרטים לגבי האזור המועד לפגיעה תוך ציון מפורש של רשימת המדינות הרלבנטיות (וכן כאלה שביקשו לקבל המסרים גם אם הן מחוץ לתחום שמכוסה ע"י אותו ספק האזהרה), יופיעו מיד בתחילת המסר. בדרך זו, השורות הראשונות של מסר הצונאמי כבר מכיל את המידע הבסיסי והחיוני לנמען. פרטים נוספים לגבי הערכת האיום יופיע בהמשך המסר.

עבור כל אחת מקטגוריות המידע הדנות בדחיפות, חומרה וודאות האירוע, מוצעות שתי רמות סיכון כמפורט בטבלה ג' 2:

טבלה ג' 2 רמות הסיכון מצונאמי במסרי האזהרה של הספקים

קטגוריה	רמה I (גבוהה)	רמה II (נמוכה)
דחיפות (Urgency)	צונאמי עלול להגיע בתוך פחות משעתיים	צונאמי עלול להגיע בתוך יותר משעתיים
חומרה (Severity)	גובה הגל החזוי בחוף מעל חצי מטר ו/או רום הצפה מרבי (run-up) ביבשה לגובה טופוגרפי של לפחות מטר מעל פני הים	גובה גל החזוי בחוף פחות מחצי מטר ו/או רום הצפה מרבי (run-up) ביבשה לגובה טופוגרפי של פחות ממטר מעל פני הים
וודאות (Certainty)	צונאמי אומת (confirmed) בעזרת מכשירי מדידה ימיים	התרעה לצונאמי על בסיס מידע סיסמולוגי בלבד, צונאמי טרם אומת (not yet confirmed) בעזרת מכשירי מדידה ימיים

הצגה מקוצרת של טבלה ג' 2 באמצעות מילות מפתח נראית באופן הבא (טבלה ג' 3):

טבלה ג' 3 מילות מפתח להגדרת רמות הסיכון מצונאמי במסרי האזהרה של הספקים

קטגוריה	רמה I (גבוהה)	רמה II (נמוכה)
דחיפות (Urgency)	מידי	יותר משעתיים
חומרה (Severity)	אזהרה - Watch	ערנות - Advisory
וודאות (Certainty)	אירוע מאומת	אירוע לא מאומת

לצורך פשטות הדיווח ומשום הקושי לקבוע את הדרגה המדויקת של חומרת האזהרה מצונאמי על פי רעידות אדמה בלבד, מצמצמים את תיאור החומרה של האירוע למינימום האפשרי ומגדירים שתי רמות התרעה בלבד (טבלה ג' 4):

טבלה ג' 4 סוגים של הודעות האזהרה מצונאמי

סוג מסר	המאפיינים של גל הצונאמי	השפעה אפשרית על החוף
אזהרה חמורה Tsunami Watch	גובה גל בחוף מעל חצי מטר ו/או רום הצפה מרבי (run-up) ביבשה לגובה טופוגרפי של לפחות מטר מעל פני הים	כל הסממנים המאפיינים צונאמי, לרבות הצפה נרחבת לאורך החוף.
אזהרה Tsunami Advisory	גובה גל בחוף פחות מחצי מטר ו/או רום הצפה מרבי (run-up) ביבשה לגובה טופוגרפי של פחות ממטר מעל פני הים	צפויים זרמים, נחשולים, נסיגת ים, נזק בנמלים, הצפה מוגבלת לאורך החוף

הערה: חזרה על טבלה 7 המעובדת על בסיס טבלה 4א'

מסרי אזהרה מצונאמי ילוו בהודעות עוקבות אשר יעדכנו את פרטי האירוע ורמת האיום בהתאם למידע שיצטבר, עד לסיומו.

בנוסף למסרי אזהרה, ישנם מסרים מסוג 'שים לב' 'מידע' ו- 'בדיקת קשר'. מסרים מסוג זה יהיו בודדים ולא יבואו מסרים עוקבים אחריהם.

'שים לב' (information) הוא מסר ששודר כדי ליידע את הנמענים על התרחשותה של רעידת אדמה גדולה באזור אבל עם הערכה כי לא קיים איום ממשי מצונאמי. הסף עבור משלוח מסר מסוג זה מוגדר במטריצות החלטה (Decision matrix) ייעודיות לים התיכון וחופי צפון-מזרח האוקיאנוס האטלנטי, כפי שהוסכם על ידי קבוצת התיאום הבין-ממשלתית. קבוצת התיאום הבין-ממשלתית ממליצה למרכזים הלאומיים להתרעה מצונאמי לשלוח מסר 'שים לב' במקרה של רעידת אדמה המורגשת בקרבת החוף, בכל מגניטודה, וזאת כדי למנוע אזהרת שווא ופינוי אוכלוסייה מיותר.

מסר מסוג 'בדיקת קשר' (communication test) משודר על ידי ספקי האזהרה מצונאמי בתאריכים מסוימים כדי לבדוק את התפעול השוטף של מרכיבי מערכת ההתרעה מצונאמי, בכוונה לאתר ליקויים ולתקנם מבעוד מועד.

ג' 2.1.2 המבנה של מסרי אזהרה מצונאמי, האזור המועד ורצף המסרים

באזור צפון מזרח האוקיאנוס האטלנטי והים התיכון לא צפויים אירועי צונאמי המסוגלים להשפיע על כל המדינות באותה רמת איום. יחד עם זאת, הוצע כי כל נציגי המוקדים הלאומיים להתרעה מצונאמי באזורים הללו יקבלו את אותו המסר, כאשר תוכנו מחולק לפי רמות האיום של הצונאמי, תוך ציון פרטני של האזורים המועדים לפגיעה לכל דרגת איום, מהחמור ביותר לקל.

היקף האזור המועד לפגיעה מצונאמי מוגדר במטריצות ההחלטה של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית על-פי 3 טווחי השפעה אפשריים כמפורט בטבלה הבאה:

טבלה ג' 5 טווחי השפעה של צונאמי

הים התיכון	צפון-מזרח האוקיאנוס האטלנטי	טווח ההשפעה
> 100 ק"מ	> 100 ק"מ	מקומי (Local)
100 עד 400 ק"מ	100 עד 1,000 ק"מ	אזורי (Regional)
< 400 ק"מ	< 1,000 ק"מ	אגני (Basin)

כאשר מתעורר חשש לאיום מצונאמי לגביו ראוי להוציא מסר אזהרה, הספק חייב להעביר לגבי אותו איום רצף של מסרים מעדכנים, עד אשר האיום מסתיים או מבוטל. סוג המסר יוגדר על פי האיום החמור ביותר החזוי באזור החוף של המדינה המאוימת, כפי שמוגדר במטריצת ההחלטה (ראה פרוט בסעיף 3.4 בגוף הדוח).

לעת הזאת, המסר הראשון על אזהרה מצונאמי מבוסס רק על מידע סיסמי אשר בפועל אינו מספיק כדי לאמת אם צונאמי אכן נוצר ועל כן רמת הוודאות של מסר זה נמוכה. המסרים העוקבים כבר אמורים להכיל הערכה יותר מדויקת של הסיכון לצונאמי על בסיס מדידות ישירות של מפלס ים ועל כן הם אמינים יותר. המסרים העוקבים עשויים לאשר את האזהרה הראשונה או מאידך לבטל אותה אם התברר שלא נוצר צונאמי. במידה ומתקבל עדכון בפרמטרים של רעידת האדמה, כמו למשל המגניטודה וואו המיקום, וואו העומק, ייתכן שינוי גם בהערכת האיום מהצונאמי, ואז ישלח מסר עם הערכת סיכון מחודשת.

מסר האזהרה מצונאמי מסתיים כאשר ספק האזהרה מעריך כי האיום מצונאמי הסתיים ולא צפויים יותר גלי צונאמי. שני מצבים צפויים במקרה זה:

א. צונאמי נצפה: ההודעה מכילה מסר על סיום האירוע לאחר חזרה למצב רגיעה.

ב. צונאמי לא נוצר: המסר מכיל הודעת ביטול.

ג' 2.1.3 נקודות חיזוי צונאמי (Tsunami Forecast Points)

כאשר מתרחשת רעידת אדמה עם פוטנציאל לצונאמי מחשבים ספקי האזהרה מצונאמי את זמני הגעת הצונאמי הצפויים (ETA-Estimated Time of Arrival) לנקודות החיזוי שנקבעו מראש על ידי מרכזי ההתרעה הלאומיים. נקודות אלה נמסרו באמצעות מזכירות IOC לקבוצת התאום הבין-ממשלתית באמצעות המקשרים הלאומיים לצונאמי של המדינות החברות בקבוצת התאום הבין-ממשלתית, עבור ערי החוף החשובות ומיקומן של תחנות הניטור של רום מפלס פני הים.

רמת האיום מצונאמי למדינה מסוימת תלויה בגובה גל הצונאמי שעלול לפגוע באותה מדינה, וזה תלוי בעיקר במרחקה ובמיקומה ביחס למוקד רעידת האדמה (מוקד יצירת

הצונאמי) ובכיוון תנועת גלי הצונאמי ביחס אליה. זמני ההגעה המחושבים של הצונאמי אינם בהכרח מלמדים על מידת הסיכון. זמנים אלה הינם ערך משוער בלבד ומהווים הנחיה כללית לגבי העיתוי הצפוי להגעת הצונאמי לנקודה הנבחרת, וזאת בשל התלות של מהירות התפשטות של גל הצונאמי בטופוגרפיה של קרקעית הים, במיוחד בעומקי מים רדודים מ-50 מ' ועד שפת הים. כתוצאה מכך, זמן ההגעה בפועל של הגל הראשון עשוי להשתנות משמעותית מהזמן החזוי. יחד עם זאת, החישוב המהיר של זמן הגעת הצונאמי מאפשר לנציגי המוקדים הלאומיים להתרעה מצונאמי, למרכזי ההתרעה הלאומיים ולגופים האחראיים על המענה בחירום, להיערך מבעוד מועד ולהבטיח את שלום הציבור.

בטבלה ג' 6 מוצגת רשימת נקודות החיזוי במקרה של אירוע צונאמי העלול לפגוע בחופי מדינת ישראל בים התיכון. מכיוון שהבתימטריה על פיה מבוצע החישוב המקורב של התפשטות גלי הצונאמי אצל ספקי ההתרעה אינה מדויקת, בפרט כאשר הנקודה קרובה לשפת הים, נקבע מיקום הנקודות על קו עומק 15- מ'. כמו כן, עבור הנקודות באשקלון, אשדוד, תל אביב, חדרה וחיפה, נבחר מיקום הקרוב לתחנות ניטור מפלס הים הפועלות במקומות אלה. מיקום הנקודות מוצג הן ברשת הגיאוגרפית העולמית WGS84, כפי שנמסרו לספקי ההתרעה מצונאמי והן ברשת ישראל החדשה, כדי להקל על מיקום במפות ישראל. הנקודות נקבעו ע"י אינג' דב רוזן מחיא"ל.

טבלה ג' 6 נקודות החיזוי לאורך חוף הים התיכון בישראל במקרה של צונאמי

עומק המים	קואורדינטות נקודת החיזוי ברשת WGS84 וברשת ישראל החדשה		מיקום הנקודה מול חוף	נקודה 'מס'
	קו אורך	קו רוחב		
~ -15m	34° 33.0558'E 157497.69	31° 41.5297'N 622369.81	אשקלון	1
~ -15m	34° 37.5329'E 164643.49	31° 48.7707'N 635711.98	אשדוד	2
~ -15m	34° 45.1661'E 176813.63	32° 4.8572'N 665385.07	תל אביב	3
~ -15m	34° 52.2302'E 188061.73	32° 27.8946'N 707923.01	חדרה	4
~ -15m	34° 56.5805'E 194968.94	32° 47.8324'N 744755.62	חיפה	5
~ -15m	35° 3.9241'E 206464.23	33° 0.5482'N 768237.85	נהריה	6

ג' 2.2 נהלים תפעוליים

ג' 2.2.1 תגובה וניתוח

ספקי האזהרה מצונאמי וואו המרכזים הלאומיים להתרעה מצונאמי יוזמים את פעילותם ברגע הגילוי של רעידת אדמה בעלת פוטנציאל ליצירת צונאמי באזור שתחת אחריותם, או עם קבלת מסר התרעה מאת ספק אזהרה מצונאמי.

בהתחשב במרחק הקצר של המקורות לצונאמי מהחוף בים התיכון, מתחיל איסוף האותות הסיסמיים מספר שניות לאחר תחילת אירוע של רעידת האדמה. אנשי ספק האזהרה מצונאמי שנמצאים בתפקיד באותה העת מגיבים מיד ומתחילים בניתוח האירוע. מסיבה זו, וכדי להיות מסוגלים להגיב במהירות לכל רעידת האדמה שעשויה ליצור צונאמי, הכרחי שמרכזי האזהרה הבינלאומיים ומרכזי ההתרעה הלאומיים יהיו מאוישים על בסיס 24/7. השאיפה היא שההערכה הראשונה של הפרמטרים של רעידת אדמה תבוצע בתוך פחות מ- 5 דקות מהרגע שהרעידה החלה. ניתוח הרעידה נעשה בדרך כלל באופן אוטומטי ומיד לאחר מכן באופן אינטראקטיבי בעזרת סיסמולוג מומחה כדי לאכן את מיקומה ולקבוע במדויק ככל האפשר את עומק המוקד, זמן האירוע, והמגניטודה. סולם המגניטודה שאומץ על ידי קבוצת התיאום הבין-ממשלתית הוא סולם המומנט, M_w . כבררת מחדל, ההערכה הראשונית של M_w חייבת להתבסס על המקטע הראשון של הסיגנל הסיסמי למרות שהוא אינו מכיל את כל המידע על חוזקה של הרעידה. לפיכך, ההערכה של המגניטודה נמשכת גם לאחר הוצאת המסר הראשון, כאשר מצטבר מידע נוסף אשר מאפשר ניתוח מקיף ומדויק יותר. במידה וחלו שינויים משמעותיים בהערכת הפרמטרים הראשונית, ספק האזהרה מצונאמי עשוי להחליט על הפצת מסר נוסף.

בחינת הפרמטרים של רעידת האדמה על פי טבלת ההחלטה (Decision Matrix) לצונאמי תאפשר להעריך את גודלו של הצונאמי הצפוי, אם בכלל, ובהתאם לכך גם את סוג המסר שיופץ. במקביל לעיבוד המידע הסיסמי, עבור כל סוג של התרעה יש לפקח באופן רציף על נתוני מפלס פני הים מהתחנות הקרובות למוקד הרעידה כדי לאשר או לפסול היווצרותו של צונאמי. בהתבסס על הנתונים הללו, כמו גם על דיווחים אמינים מהרשויות הלאומיות

או התקשורת על התפתחות גלי צונאמי, מידע ממקורות היסטוריים, ומודל חיזוי ממוחשב, מעדכנים באופן שוטף את הערכת הסיכון מצונאמי. אם נוצר צונאמי, הרי שזהו סיכון מתמשך, ויש לעדכן את ההתרעה ואולי אף להחמירה בהתאם למידע המצטבר, עד אשר האירוע מסתיים.

בתגובה למסרי האזהרה מצונאמי, חייבות הרשויות הלאומיות להפעיל באופן מידי את נוהלי המענה שלהם, לרבות מתן הוראות לפינוי האוכלוסייה באזורי החוף כפי הצורך. אם מפלס פני הים ונתונים אחרים מציינים שצונאמי הרסני לא נוצר, או לא קיים איום משמעותי מצונאמי, אזי על הספקים לבטל מיד את ההתרעה מצונאמי.

השאיפה באזור הים התיכון היא שספקי ההתרעה יוציאו את המסר הראשון על אירוע מחולל צונאמי בין 5 ל- 15 דקות לאחר רעידת האדמה, מוקדם ככל שניתן, בהתאם לצפיפות של התחנות הסיסמיות באזור המוקד, באי וודאות של פחות מ- 0.3 יחידות במגניטודה של רעידת האדמה, ובהערכת מיקום המוקד בדיוק של פחות מ- 20 עד 30 ק"מ. עם זאת, באזורי חוף הקרובים למוקד האירוע המסר עלול להגיע לאחר שהגל הראשון של הצונאמי כבר פגע בחוף. באזורים אלה צריך ללמד את האוכלוסייה על סימני ההתרעה הטבעיים מצונאמי, כגון זעזועים חזקים מרעידת האדמה או נסיגה של מי הים, ולהתפנות מיד לתוך היבשה כאשר סימנים כאלה מתרחשים.

ג' 2.2.2 פרמטרים של רעידת האדמה

הפרמטרים של רעידת האדמה יכולים לספק האזהרה המוקדמת מצונאמי פוטנציאלי מאחר והגלים הסיסמיים נעים במהירות גבוהה יותר בתת הקרקע ממהירות ההתפשטות של גלי הצונאמי בים. כתוצאה מכך, הודעות האזהרה הראשונות מבוססות אך ורק על הערכה ראשונית של הפרמטרים של רעידת האדמה. מאחר וחלק ניכר מהרעידות הגדולות אשר לכאורה נראה שהן מסוגלות ליצור צונאמי הרסני אינן גורמות בפועל לצונאמי, רוב הודעות ההתרעה הראשוניות מתבטלות בסופו של דבר. מספר גורמים תורמים למגבלה זו, וביניהם:

א. הצונאמי נוצר בעיקר בעקבות רעידות אדמה חזקות ורדודות (מתחת לקרקעית הים) בהן קיים רכיב תנועה אנכי משמעותי של הקרקע, אולם קביעה מדויקת ומהירה של העומק והמנגנון המכאני של המוקד הינה משימה מורכבת בשל הצורך באיסוף נתונים ועיבודם בזמן קצר (פחות מ-15 דקות).

ב. סף המגניטודה לאזהרה מצונאמי הוגדר באופן שמרני כדי שלא להחמיץ כל אזהרה מצונאמי משמעותי תוך התחשבות באי הוודאות הכרוכה באומדן הראשוני של המגניטודה.

באגף סיסמולוגיה שבמכון הגיאופיסי (אשר מונה כ-TWFP של ישראל) קיימת פרוצדורה אוטומטית להערכת פרמטרים של רעידות אדמה (מיקום ומגניטודה) בעזרת נתונים של הרשת הסיסמית הישראלית. זמן החישוב ואי הוודאות הכרוכים בהערכה הראשונית של הפרמטרים הללו במערכת הישראלית מוצגים בטבלה ג' 7. במידה ויפותח מודל תלת-ממדי של המהירויות הסיסמיות האזוריות ניתן יהיה לשפר את הדיוק בקביעת הפרמטרים.

טבלה ג' 7: הערכה ראשונית של משך הזמן ואי הוודאות בחישוב פרמטרים של רעידת אדמה ברשת הסיסמית הישראלית

מתבסס על גלי P ו-S				מתבסס על גלי P בלבד				אזור
זמן חישוב (דק')	מגניטודה Mw	עומק (קמ')	מיקום (קמ')	זמן חישוב (דק')	מגניטודה Mw	עומק (קמ')	מיקום (קמ')	
~0.5	±0.1	±5	±2	~0.25	±0.2	N/A	±5	ים המלח
3-5	±0.3	±20	±10	1.5-2	±0.5	N/A	±50	הקשת הקפריסאית
5-10	±0.5	N/A	±50	3-5	±0.5	N/A	±80	כרתים

ג' 2.2.3 אומדן זמני ההגעה של גל הצונאמי הראשון

אומדן זמני הגעת גל הצונאמי הראשון באירוע צונאמי מחושב על ידי ספקי האזהרה על פי אומדן ראשוני של תכונות גל הצונאמי הראשון שנוצר (זמן מחזור, גובה במקום היצירה וכיווני התפשטות) או על פי תכונות מדודות של הגל על פי רישום בתחנת ניטור מפלס הים הקרובה למיקום האירוע (במידה וקיימת) תוך שימוש בתיאוריה (הליניארית בדרך כלל)

של גלי כובד, על בסיס הבתימטריה של האזור ועד נקודות החיזוי. מאחר ויש צורך לבצע אומדן מהיר מאוד וכמו כן אין בידי ספקי האזהרה מצונאמי מידע מדויק ומפורט על הבתימטריה באזורי החוף הרדודים מעומק של כ-100 מ' (במרבית המדינות שמחוץ לאיחוד האירופי, כולל ישראל), בעיקר בגלל בעיות סיווג ביטחוני, החישובים נעשים על פי סריג עומקים גס יחסית ובאמצעות תוכנת מידול פחות מדויקת. כתוצאה מכך, הזמנים המתקבלים ומסופקים על ידי ספקי האזהרה בנקודות החיזוי, צפויים להיות קצרים יותר מאשר במציאות עד כדי מספר דקות מבחינת זמן הגעה ופחות מדויקים מבחינת אומדן גובה הגל החזוי בנקודת החיזוי.

ערכים מדויקים יותר ניתן לקבל לפחות בשלב הנוכחי רק על ידי הרצת תרחישי צונאמי שונים המכסים את מניפת האפשרויות לאירועי צונאמי, תוך שימוש במודלים מתקדמים הכוללים תופעות לא ליניאריות, ובנתוני בתימטריה וטופוגרפיה בעלת רזולוציה גבוהה וסריגים עדינים. לפי כך, המליץ ארגון ה- ICG/NEAMTWS למדינות החברות בו לייצר בנק של תרחישי צונאמי פוטנציאליים, שיוכל לשמש הן לקבלת החלטות מושכלות לגבי התמודדות עם פגיעת צונאמי וכן לאימות מול נתוני אמת במקרים של אירועי צונאמי, אפילו אם אלה בעלי גובה ופגיעה זניחה, כדי לאפשר כיוול ואימות משופר של המודלים.

בישראל בוצעו הרצות של תרחישי צונאמי ברזולוציית סריג נמוכה יחסית ע"י חברת URS (Thio, 2009) עבור המכון הגיאולוגי והועדה להיערכות לרעידות אדמה בישראל, וע"י חקר ימים ואגמים לישראל בשיתוף המכון הגיאולוגי (גלנטי וחוב', 2009, 2010) על בסיס נתונים בתימטריים ברזולוציה גבוהה לאזורי החוף של תל אביב ושל מפרץ חיפה בעזרת התוכנה GeoClaw אשר נקלטה בחיא"ל. כיום מבוצע פרויקט משותף של חיא"ל ומג"ל לביצוע הרצות של מרבית התרחישים הפוטנציאליים ליצירת צונאמי שעלולים לפגוע בחופי ישראל בים התיכון, על בסיס סריג בתימטרי וטופוגרפי ברזולוציה גבוהה שיכסה את כל החוף הישראלי בים התיכון, ושעל בסיסו יוכנו מפות הצפה וכמובן גם יחושבו זמני הגעת הגל הראשון במקומות שונים לאורך החוף. עבודה זאת צפויה להסתיים באמצע

ג' 2.2.4 אזורים של 'אזהרה' ו'אזהרה חמורה' *Watches and Advisories*

במקרה של חשד לאירוע צונאמי חזק, מבוצע אומדן ראשוני (יכול להתעדכן במסרים עוקבים), של האזורים בהם קיימת ייתכנות לפגיעת צונאמי על פי רמת אזהרה של "אזהרה" ושל "אזהרה חמורה" וביתר החופים ומדינות ישלח רק מסר של 'שים לב' לשם העלאת המודעות. מרכז "נחשול נצפה" יבצע בדיקה של המידע המתקבל כנגד נתונים מקומיים נוספים, בהם חישובים סיסמיים, מפות הצפה עבור תרחישי צונאמי למצבים הדומים לאופי האירוע המדווח ע"י ספקי האזהרה ונתונים של תחנות מפלס הים באזור האירוע ומול חופי המדינה שקיבלה את מסר האזהרה. תיאור של סוגי מסרי האזהרה השונים שנקבעו ע"י ICG/NEAMTWS מוצג בפרק ג' 2.3 להלן.

ג' 2.3 סוגי ההודעות

ספקי האזהרה מצונאמי מפיצים שלושה סוגים של מסרים בסיסיים בתגובה לרעידות אדמה חזקות עם פוטנציאל ליצירת צונאמי. סוג רביעי של מסרים בין האירועים נועד לבדוק את מערכות התקשורת בין הגורמים והמוסדות השונים של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית. כדי למנוע בלבול בין נציגי המוקדים הלאומיים להתרעה מצונאמי ומנהלי המענה בחירום, מופץ רק מסר אחד לאירוע במידה והוא בעל פוטנציאל ליצירת צונאמי, ללא קשר לרמת איום הצונאמי באזור מסוים. בדרך זו, מסר נתון עשוי להכיל רמות שונות של אזהרה.

התיאורים הבאים חלים לאו דווקא בהכרח על כל המסר, אלא לפחות על חלקו עם רמת הכוונות המתאימה. במסרי ההתרעה מצונאמי, רמת הכוונות הגבוהה יותר תמיד תוצג ראשונה.

ג' 2.3.1 מסר "אזהרה חמורה" מצונאמי - *Watch*

מסר "אזהרה חמורה" (**Watch**) מופץ בכל פעם שהמידע הסיסמי ו/או נתוני מפלס פני הים מציינים כי קו חוף מסוים באזור הים התיכון עשוי להיות מושפע מצונאמי בגובה גל גדול מ- 0.5 מ', ו/או כאשר רום ההצפה המרבי של הצונאמי ביבשה (run-up) עלול להגיע למקום בו פני השטח נמצאים בגובה של יותר מ- 1 מ' מעל רום פני הים באותו הזמן. מידת

הוודאות של המסר "אזהרה חמורה" תלויה באיכות הנתונים אשר שימשו להערכת האיום מצונאמי, לרבות המגניטודה של רעידת האדמה. כאמור, מסרים המסתמכים על נתונים סיסמיים בלבד הם ברמת ודאות נמוכה, אך ההסתברות לצונאמי הרסני עולה עם המגניטודה. חשוב לציין כי מסר "אזהרה חמורה" הינו בעל רמת הסיכון הגבוהה ביותר של מסר התרעה מצונאמי, ויש להניח שאם אכן נוצרו גלי צונאמי, הרי שזהו איום ממשי על אוכלוסיות רצועת החוף, וייתכן גם הרס משמעותי לאורך רצועת החוף.

לאחר המסר הראשון מופצים אחד או יותר מסרים עוקבים הקשורים לאותו אירוע, והם מכילים הערכת מצב עכשווית על סמך תצפיות עדכניות של מפלס פני הים ונתונים סיסמיים, עדכון חומרת האזהרה לפי הצורך, ואף ביטול האזהרה בהתאם. במידה ותצפיות מפלס הים או דוחות אחרים מאשרים שאכן צונאמי נוצר, אזי המסר האחרון ברצף חייב להודיע על סיומו של האירוע.

כאשר מופץ מסר "אזהרה חמורה" אזי נציגי המוקדים הלאומיים להתרעה מצונאמי, מרכזי ההתרעה הלאומיים מצונאמי וסוכנויות הניהול בחירום בכל המדינות המושפעות מאזהרה זו, צריכים להעריך את הסיכון בו המדינות שלהם נתונות ולהגיב בהתאם.

ג' 2.3.2 מסר "אזהרה" מצונאמי - Advisory

מסר "אזהרה" (Advisory) מופץ בכל פעם שהמידע הסיסמי ו/או נתוני מפלס פני הים מציינים כי קו חוף מסוים באזור הים התיכון עשוי להיות מושפע מצונאמי בגובה גל של 0.2 עד 0.5 מ', ו/או כאשר רום ההצפה של הצונאמי ביבשה (run-up) עלול להגיע למקום בו פני השטח נמצאים בגובה של עד 1 מ' מעל רום פני הים באותו הזמן. בדומה למסר "אזהרה חמורה", גם מידת הוודאות של מסר "אזהרה" תלויה באיכות הנתונים אשר שימשו להערכת האיום. למרות שרמת האיום במסר "אזהרה" פחותה יותר מזו של מסר "אזהרה חמורה", אין להקל בסיכון משום שגם צונאמי 'קטן' לכאורה, עלול לגרום להצפה בחופים, זרמים תת ימיים חזקים ותהודת גלים בנמלי ים ובהתאם לכך גם לגרום לאבדות בנפש ונזקים.

גם לאחר שליחת מסר ראשון מסוג זה יופצו אחד או יותר מסרים עוקבים אשר יכילו הערכת מצב על פי מידע עדכני ככל שיצטבר, ובמידת הצורך תעודכן גם חומרת המסר או שיופץ מסר ביטול מצב "אזהרה". במידה וצונאמי אכן נוצר, המסר האחרון יודיע על סיומו של האירוע.

ג' 2.3.3 מסר "שים לב" - Information

זהו מסר המודיע על התרחשותה של רעידת אדמה חזקה באזור הפיקוח של ספק ההתרעה והערכתו כי לא קיים איום להיווצרות צונאמי.

ג' 2.3.4 מסר "בדיקת קשר" - Communication Test

זהו מסר לצורך בדיקת קשר במערכות השונות (GTS, אינטרנט, פקס, טלפון, וכד') והנמענים מתבקשים להשיב למסר זה מיד עם קבלתו. על פי המלצת קבוצת התיאום הבין-ממשלתית, בדיקות הקשר נערכות מדי חודש בחודשו, בשבוע הראשון של כל חודש, ביום שונה עבור כל ספק התרעה מצונאמי. קבוצת התיאום הבין-ממשלתית גם המליצה כי התוצאות יופצו לכל חברי הקבוצה כדי לעקוב אחר הביצועים של המערכת, לאתר כשלים ועיכובים אפשריים ולשפר בהתאם.

ג' 2.3.5 מסר 'תרגיל' - Exercise

במקרה של תרגיל, יופצו מסרים הדומים במבנה ותוכן למסרי אמת, אך בתחילת המסר יצוין שמדובר בתרגיל בלבד.

ג' 2.4 הגדרות מצב האזהרה

ג' 2.4.1 'אזהרה חמורה' מצונאמי - Watch

מסר "אזהרה חמורה" (**watch**) יופץ על ידי ספקי האזהרה מצונאמי כאשר יעריכו כי צפוי צונאמי עם פוטנציאל הצפה משמעותי במשך כמה שעות. הטיפול הנדרש של הגורמים הרשמיים המקומיים עשוי לכלול פינוי אזורי החוף הנמוכים, הפניית ספינות למים עמוקים במידה ונותר זמן לעשות זאת בבטחה, וכדומה. מסרים מסוג זה מבוססים תחילה על מידע סיסמי בלבד ועשויים להתעדכן בהמשך האירוע בהתאם להצטברות מידע חדש.

ג' 2.4.2 "אזהרה" מצונאמי - Advisory

מסר אזהרה מצונאמי ברמת 'אזהרה' (advisory) מופץ כאשר צפוי צונאמי עם פוטנציאל הצפה קטן יחסית באזורים ספציפיים. במצב זה לא בהכרח נדרש פינוי אוכלוסייה, עם זאת, הצונאמי יכול לגרום לזרמים חזקים, וההצפות קטנות במשך כמה שעות. תהודה (רזוננס) של שדה הגלים והזרמים יכולה לגרום נזק בנמלים. רשויות החירום אמורות לבצע את הפעולות המתאימות כמו למשל לפנות אנשים מהמים ולהרחיקם מקו החוף, וכדומה. כאמור, גם מסרים מסוג זה מבוססים תחילה על מידע סיסמי בלבד ועשויים להתעדכן בהמשך האירוע בהתאם להצטברות מידע חדש.

ג' 2.4.3 מסר "שים לב" על צונאמי - Information

מסר 'שים לב' הוא מסר המודיע על מצב "ללא אזהרה", ומציין כי אירעה רעידת אדמה אבל ללא פוטנציאל לצונאמי באזור החופים של המדינה מקבלת המסר. מסר מסוג זה נועד למנוע בהלה ופינוי מיותר של האוכלוסייה במקרה שרעידת אדמה הורגשה חזק באזורי החוף או בים אך לא קיים סיכון מצונאמי באזור החופים של המדינה מקבלת המסר.

ג' 2.4.4 מסר סיום מצב אזהרה מצונאמי - End of Alert/ All Clear

הודעת סיום אירוע מופצת בדרך כלל על ידי הרשויות המקומיות (All Clear) בעקבות אירוע אסון כדי ליידע את הציבור שהאירוע הסתיים וניתן לחזור לאזור שנפגע. גם בעקבות צונאמי משמעותי יפצו ספקי האזהרה מצונאמי מסר בדבר סופו של מצב האזהרה (End of Alert) כאשר הנתונים והתצפיות יעידו שהשפעה של גלי הצונאמי אכן שככה. יחד עם זאת חשוב לדעת שספקי האזהרה מצונאמי לא מקבלים מספיק נתונים כדי לקבוע מתי הסכנה חלפה בפועל בכל אזורי החוף. תנאים מקומיים יכולים לגרום לשריפות, זיהום כימי או דליפת חומרים מסוכנים, נזקים למערכת החשמל, וכדומה. כתוצאה מכך, סיום האירוע חייב להיות מוגדר על ידי הרשויות המקומיות ולא על ידי ספקי האזהרה מצונאמי.

ג' 2.5 תבנית ותוכן של מסרי הצונאמי

המסרים מורכבים מהתכנים הבאים :

ג' 2.5.1 כותרת המסר

כותרת המסר מכילה שלוש שורות. השורה הראשונה (בדוגמא שלהלן מודגשת בצהוב) מציינת את מהות המסר, האם זהו מסר אזהרה מצונאמי, תרגיל, בדיקת קשר, וכדומה. השורה השנייה (בדוגמא מודגשת בירוק) מצביעה על זהות הגוף שמפיץ את המסר, ואילו השורה השלישית (בדוגמא מודגשת בתכלת) מציינת את התאריך והשעה שבהם שודר המסר.

דוגמא לכותרת מסר צונאמי

TSUNAMI MESSAGE NUMBER 002

NEAM XXX TSUNAMI WATCH PROVIDER

ISSUED AT 1010Z 01 NOV 2014

ג' 2.5.2 סוג המסר והאזור המועד

מיד לאחר כותרת המסר מופיעה סדרה של הצהרות באשר לחומרת האיום והאזור המאויים. כל הצהרה שכזו מורכבת משני חלקים כאשר החלק הראשון (מודגש בדוגמא בצהוב) מציין את סוג ההצהרה ורמת האיום (ראה הטבלאות שלהלן) והחלק השני (מודגש בדוגמא בירוק) את המדינות והאזורים עבורם נועדה האזהרה לפי סדר אלפביתי, וזאת על מנת להקל על זיהויים ואיתורם המהיר של האזורים הללו.

דוגמא לסוגי המסרים האפשריים (10 במספר)

... TSUNAMI WATCH ...
 ... TSUNAMI WATCH ONGOING ...
 ... TSUNAMI WATCH CANCELLATION ...
 ... END OF TSUNAMI WATCH ...
 ... TSUNAMI ADVISORY ...
 ... TSUNAMI ADVISORY ONGOING ...
 ... TSUNAMI ADVISORY CANCELLATION ...
 ... END OF TSUNAMI ADVISORY ...
 ... TSUNAMI INFORMATION ...
 ... TSUNAMI COMMUNICATION TEST ...

דוגמא לסוגי מסר שונים ושדות האזור המועד לפגיעה

... TSUNAMI WATCH ONGOING ...

THIS ALERT APPLIES TO FRANCE (FRENCH RIVIERA, LANGUEDOC...)... IRELAND ...
 MOROCCO ... PORTUGAL ... SPAIN ... UNITED KINGDOM

... TSUNAMI INFORMATION ...

THIS ALERT APPLIES TO ALBANIA ... ALGERIA ... BOSNIA AND HERZEGOVINA ... BULGARIA
 ... CROATIA ... CYPRUS ... EGYPT ... GEORGIA ... GREECE ... ISRAEL ... ITALY ... LEBANON
 ... LIBYA ... MALTA ... MONTENEGRO ... PALESTINE ... ROMANIA ... RUSSIA ... SLOVENIA ...
 SYRIA ... TUNISIA ... TURKEY ... UKRAINE

ג' 2.5.3 תצהיר רשויות

אחרי כותרת המסר, סוג המסר והאזור המועד לפגיעה, מוגשת הצהרה מטעם ספק ההתרעה בדבר האחריות על הטיפול באירוע. נאמר שהמסר הינו המלצה בלבד ואילו האחריות למענה לצונאמי מוטלת על הרשויות הממשלתיות והמקומיות.

דוגמא של הצהרת הרשויות

THIS MESSAGE IS ISSUED AS ADVICE TO GOVERNMENT AGENCIES. ONLY NATIONAL AND LOCAL GOVERNMENT AGENCIES HAVE THE AUTHORITY TO MAKE DECISIONS REGARDING THE OFFICIAL STATE OF ALERT IN THEIR AREA AND ANY ACTIONS TO BE TAKEN IN RESPONSE.

ג' 2.5.4 פרמטרים של רעידת האדמה

אחרי הצהרת הרשויות מגיע קובץ פרמטרים על רעידת האדמה. המסר הראשון מבוסס בדרך כלל על הערכה מהירה וככל שמצטבר מידע נוסף, כך נעשה עדכון הפרמטרים. כתוצאה מהבדלים בשיטות העבודה, הסתמכות על נתונים שונים וחלקיים, ייתכנו הבדלים בהערכות שיינתנו על ידי הסוכנויות השונות לגבי הפרמטרים של רעידת המקור, לרבות המגניטודה. כאמור, המגניטודה נקבעת בסולם המומנט - Mw והזמן ניתן ברשת ייחוס הזמן העולמית - UTC.

דוגמא של פרמטרים של רעידת אדמה

AN EARTHQUAKE HAS OCCURRED WITH THESE PRELIMINARY PARAMETERS
 ORIGIN TIME - 0940Z 01 NOV 2014
 COORDINATES – 35.90 NORTH 10.22 WEST
 DEPTH - 30 KM
 LOCATION – North-Eastern ATLANTIC, PORTUGAL
 MAGNITUDE – 8.5

ג' 2.5.5 מדידות גל הצונאמי

כיום, מסרי האזהרה הראשוניים אינם מכילים מידע על גובה גל הצונאמי בשל מיעוט המכשירים ופרישתם המוגבלת. ככל שהאירוע יתקדם כך אפשר ויצטברו במרכז האזהרה נתונים מסוג זה, והם ידווחו במסרי ההמשך. בעתיד, כאשר תתרחב פרישת מדי מפלס פני הים ואמצעים אחרים, המידע יהיה זמין יותר. כל נתון מסוג זה מוצג תוך ציון שם מכשיר המדידה, המיקום שלו, זמן המדידה (בייחוס ל-UTC); יש להשתמש בייחוס לזמן זה בכל

תכתובת עם הגופים בחו"ל, ולהמיר לשעון מקומי בכל תכתובת עם הגופים הישראליים, תוך ציון כי הייחוס הוא לזמן המקומי בישראל), האמפליטודה המרבית של הגל במטרים (יש לשים לב כי הגל אינו סימטרי בקרבת החוף אלא צורתו לרוב כצורת גל זנק הידרולי) וזמן המחזור של הגל (דקות).

לא ניתן להפריז בחשיבות המדידות מסוג זה באשר הן מעידות על היווצרותו של הצונאמי, מידע שלא ניתן לקבלו ישירות מפרמטרים של רעידת אדמה. יחד עם זאת, נדרשים מומחיות וניסיון בקריאת המידע הימי ועל כן נדרשת ביקורת של אנשי המקצוע בנושא.

דוגמא למדגם מדידות גל הצונאמי

```

MEASUREMENTS OR REPORTS OF TSUNAMI WAVE ACTIVITY
GAUGE LOCATION LAT LON TIME AMPL PER
-----
PORTUGAL - LAGOS 37.06N 8.73W 1003Z 2.44M 12MIN
PORTUGAL - SINES 37.97N 8.89W 1007Z 2.25M 7MIN
LAT - LATITUDE (N-NORTH, S-SOUTH)
LON - LONGITUDE (E-EAST, W-WEST)
TIME - TIME OF THE MEASUREMENT (Z IS UTC TIME)
AMPL - TSUNAMI AMPLITUDE MEASURED RELATIVE TO NORMAL SEA LEVEL.
IT IS ...NOT... CREST-TO-TROUGH WAVE HEIGHT.
VALUES ARE GIVEN IN METERS (M).
PER - PERIOD OF TIME IN MINUTES (MIN) FROM ONE WAVE TO THE NEXT.

```

ג' 2.5.6 הערכת מצב

כל המסרים מכילים הערכת מצב של האיום מצונאמי, ולעיתים גם המלצה לגבי פעולות התגובה והמענה המתאימות. ההצהרה מתייחסת גם לאי הוודאות הכרוכה בהערכת המצב. מאחר ומסר בודד מופץ למספר נמענים עם רמות שונות של איום מצונאמי, השורה הראשונה בהצהרה מציינת את רמת האיום והנמען יכול להסיק מכך לגבי מצבו.

דוגמא להערכת מצב למקרה של מסר "אזהרה"

EVALUATION OF TSUNAMI WATCH

IT IS NOT KNOWN THAT A TSUNAMI WAS GENERATED. THIS MESSAGE IS BASED ONLY ON THE EARTHQUAKE EVALUATION.

AN EARTHQUAKE OF THIS SIZE HAS THE POTENTIAL TO GENERATE A TSUNAMI THAT CAN STRIKE COASTLINES WITH A WAVE HEIGHT GREATER THAN 0.5M AND/OR CAUSE A TSUNAMI RUN-UP GREATER THAN 1M.

AUTHORITIES SHOULD TAKE APPROPRIATE ACTION IN RESPONSE TO THIS POSSIBILITY. THIS CENTER WILL MONITOR SEA LEVEL DATA FROM GAUGES NEAR THE EARTHQUAKE TO DETERMINE IF A TSUNAMI WAS GENERATED AND ESTIMATE THE SEVERITY OF THE THREAT.

A TSUNAMI IS A SERIES OF WAVES AND THE FIRST WAVE MAY NOT BE THE LARGEST. TSUNAMI WAVE HEIGHTS CANNOT BE PREDICTED AND CAN VARY SIGNIFICANTLY ALONG A COAST DUE TO LOCAL EFFECTS. THE TIME FROM ONE TSUNAMI WAVE TO THE NEXT CAN BE FIVE MINUTES TO AN HOUR, AND THE THREAT CAN CONTINUE FOR MANY HOURS AS MULTIPLE WAVES ARRIVE.

ג' 2.5.7 זמני ההגעה המשוערים

זמני ההגעה המשוערים של הצונאמי נקבעים באמצעות חישוב פשוט ומהיר ועל כן יש להתייחס אליהם כהערכה בלבד. המידע ניתן בייחוס ל-UTC (Universal Time Coordinated) וצריך להמירו לזמן מקומי בתקשורת מול הגופים המקומיים. יחד עם זאת, הדיווח לגופים הבינלאומיים במקרה הצורך יעשה ב-UTC. לצורך הפשטות, זמני ההגעה ניתנים במרוכז עבור כל מדינה, לפי סדר הגעת הצונאמי אליהן.

דוגמא של זמני ההגעה הצונאמי המשוערים עבור יישובים מקומיים

ESTIMATED INITIAL TSUNAMI WAVE ARRIVAL TIMES AT FORECAST POINTS WITHIN THE WATCH AREA ARE GIVEN BELOW. ACTUAL ARRIVAL TIMES MAY DIFFER AND THE INITIAL WAVE MAY NOT BE THE LARGEST. A TSUNAMI IS A SERIES OF WAVES AND THE TIME BETWEEN SUCCESSIVE WAVES CAN BE FIVE MINUTES TO ONE HOUR.

LOCATION FORECAST POINT COORDINATES ARRIVAL TIME LEVEL (ADVISORY, WATCH)

PORTUGAL - VILA DO BISPO 37.04N 8.89W 0955Z 01 NOV ADVISORY
 PORTUGAL - VILAMOURA 37.07N 8.12W 1009Z 01 NOV ADVISORY
 SPAIN - LA BARROSA 36.37N 6.18W 1006Z 01 NOV ADVISORY
 SPAIN - TORRE DEL PUERCO 36.34N 6.16W 1010Z 01 NOV ADVISORY
 MOROCCO - ASILAH 35.42N 6.07W 1007Z 01 NOV ADVISORY
 MOROCCO - EL BEHARA 34.68N 6.40W 1023Z 01 NOV ADVISORY
 FRANCE - CAPBRETON 43.64N 1.45W 1243Z 01 NOV ADVISORY
 FRANCE - LACANAU 44.98N 1.20W 1254Z 01 NOV ADVISORY
 IRELAND - SCHULL 51.53N 9.55W 1317Z 01 NOV ADVISORY31

ג' 2.5.8 המסר הבא

סמוך לסוף המסר מופיעה הצהרה לגבי מסר ההמשך הצפוי לאותו אירוע הצונאמי, בהתאם למידע שייאסף והערכת מצב עדכנית. במקרה שהאירוע נמשך, יופצו עדכונים שוטפים ובמקרה שהאירוע הסתיים יופץ מסר סיום האירוע.

דוגמאות להצהרה בדבר מסר הבא

SUPPLEMENT MESSAGES WILL BE ISSUED AS SOON AS NEW DATA AND EVALUATION ALLOWS. THE TSUNAMI ALERT WILL REMAIN IN EFFECT UNTIL AN END OF ALERT IS BROADCAST.

THIS WILL BE THE FINAL MESSAGE ISSUED FOR THIS EVENT UNLESS ADDITIONAL INFORMATION BECOMES AVAILABLE.

ג' 3 רשימת המקורות

המקורות לנספח זה כלולים ברשימת המקורות המופיעה בגוף הדוח.

נספח ד' מילון מונחים, מושגים והגדרות בנושא התרעה מצונאמי

המילון עוקב אחר השפה המשותפת והמונחים שהוגדרו בקבוצת התיאום הבין ממשלתית (ICG/UNESCO):

אונסקו - UNESCO - The UN Educational, Scientific and Cultural Organization

ארגון החינוך, המדע והתרבות של האו"ם

אזהרה – Tsunami Advisory

מסר זה מופץ כאשר קיים חשש לגל צונאמי בחוף בגובה של פחות מחצי מטר ו/או רום הצפה מרבי (run-up) ביבשה לגובה טופוגרפי של פחות ממטר מעל פני הים. צפויים זרמים, נחשולים, נסיגת ים, הצפה מוגבלת לאורך החוף וייתכנו נזקים.

אזהרה חמורה - Tsunami Watch

מסר זה מופץ כאשר קיים חשש לגל צונאמי בחוף בגובה של מעל חצי מטר ו/או רום הצפה מרבי ביבשה לגובה טופוגרפי מעל מטר מעל פני הים. צפויים כל הסממנים המאפיינים צונאמי, לרבות הצפה נרחבת לאורך החוף ונזקים.

איש קשר (מקשר) לאומי לצונאמי - TNC - Tsunami National Contact
הנציג שנקבע על ידי הממשלה של המדינה החברה בקבוצת התיאום הבין-ממשלתית לייצג אותה בהקמת מערכת ההתרעה הבינלאומית מצונאמי ובפעילויות מניעה.

בדיקת תקשורת - Communication Test

מסר לבדיקת קשר במערכות התקשורת (GTS, אינטרנט, פקס, טלפון, וכד') דרכן מועברים המסרים השונים ולצורך איתור כשלים ועיכובים אפשריים.

דחיפות - Urgency

משך הזמן שנדרש לצונאמי להגיע ממקום היווצרותו עד לחוף הנדון. זמן ההגעה במצב 'דחיפות גבוהה' הינו עד שעתיים ונחשב מידי; במצב 'דחיפות נמוכה' זמן ההגעה הצפוי של הצונאמי גדול משעתיים.

הועדה הבין-ממשלתית לאוקיאנוגרפיה - IOC - Intergovernmental Oceanographic Commission (of UNESCO)

הגוף המנחה את דפוסי המבנה ונוהלי העבודה של מערכות ההתרעה מצונאמי בעולם לאור הניסיון והידע שהצטבר בתחום זה, בשאיפה להגיע לאחידות ושפה משותפת. מורכב מנציגי המדינות החברות באונסקו ופועל כזרוע שלו.

היכון – Stand-by

מצב התרעה בו קיימת סבירות מסוימת לאירוע צונאמי המוגדרת מראש בטבלת ההחלטות, אך עדיין קיימת לגביה אי וודאות משמעותית. מצב זה נועד להעלות את רמת המוכנות בגופים האופרטיביים ובתשתיות הלאומיות המועדים להצפה בישראל, ולקצר את לוחות הזמנים במידה ובהמשך יוחלט על מצב 'הפעל'. במצב זה אין עדיין התרעה לאוכלוסייה.

הפעל - Action

מצב התרעה בו קיימת סבירות גבוהה מאוד או אפילו וודאות לאירוע צונאמי בחופי ישראל, ויש צורך לנקוט בפעולות ממשיות להצלת חיי אדם, התגוננות

ומזעור הסכנה. ההתרעה תקבע בהתאם לקריטריונים שיקבעו מראש ובהסתמך על חוות הדעת של מרכז "נחשול נצפה" ותופץ לכלל הגורמים האופרטיביים 24/7 בישראל. במצבי ביניים הסמכות לקבלת החלטה מוטלת על ממלא התפקיד האופרטיבי הבכיר, הנמצא במוכנות וכוונות לאירוע צונאמי.

Warning - התרעה

מונח השמור לתקשורת פנים-לאומית בלבד משום שהאחריות על התושבים במדינה נתונה בידי ממשלתם בלבד. מדינה אינה יכולה להזהיר את שכנתה.

Certainty - וודאות

מידת הסבירות להתרחשות אירוע צונאמי. 'וודאות גבוהה' נסמכת על כך שצונאמי אכן נוצר וקיומו אומת בעזרת מכשירי מדידה ימיים; 'וודאות נמוכה' מציינת שההתרעה לצונאמי מבוססת על מידע סיסמולוגי בלבד, וצונאמי טרם אומת בעזרת מכשירי מדידה ימיים.

SC - Steering Committee of ICG - ועדת ההיגוי של קבוצת התיאום הבין-ממשלתית

הועדה שמנהלת את פעילות קבוצת התיאום הבין-ממשלתית. כוללת את יו"ר ה-ICG ושני סגניו, היו"רים המשותפים של ארבעת קבוצות העבודה וצוותי המשימות, וכן נציגי ההגנה האזרחית.

ETA - Estimated Time of Arrival - זמן הגעה משוער

הזמן בו צפוי גל הצונאמי להגיע לנקודת חיזוי נתונה בחוף, מתקבל בעזרת תרחיש מחשב. כדי למנוע בלבול, מציינים ספקי האזהרה מצונאמי את זמני ההגעה החזויים על פי זמן עולמי מתואם - UTC (מוגדר בהמשך). בישראל יהיה על מרכז "נחשול נצפה", לתרגם זמן זה לזמן המקומי (תוספת שעתיים לשעון חורף ושלוש שעות לשעון קיץ) והוא זה אשר יופץ בישראל. הנושא חשוב כאשר אירוע מתרחש באזור בו הזמן המקומי שונה מהשעון בישראל (הקשת ההלנית לדוגמא),

UTC - Coordinated (GMT in the past - Universal Time - זמן עולמי מתואם - Greenwich Mean Time) also known as Z time or Zulu time

השעון המשותף לכל העולם שעל פיו נמסרים הפרטים והפרמטרים של רעידת האדמה, מפלסי הים והצונאמי במערכות ההתרעה.

Severity - חומרה

גובה גל הצונאמי בחוף ופוטנציאל ההצפה שלו. 'חומרה גבוהה' מציינת גובה גל מעל חצי מטר ו/או רום הצפה מרבי (run-up) ביבשה לגובה טופוגרפי של מטר ויותר מעל פני הים. במצב זה נדרשת התרעה בדרגת 'אזהרה חמורה' (Watch). 'חומרה נמוכה' מציינת גובה גל בחוף פחות מחצי מטר ו/או רום הצפה מרבי ביבשה לגובה טופוגרפי של פחות ממטר מעל פני הים, ואז נדרשת התרעה בדרגת 'אזהרה' בלבד (Advisory).

Decision matrix - טבלת החלטה

סדרת קריטריונים המשמשת כעזר לקבלת החלטה על הפוטנציאל לאירוע צונאמי על בסיס פרמטרים של רעידת האדמה.

CTWP - Candidate Tsunami Watch Provider - מועמד לספק אזהרה לצונאמי - (temporary status before final approval as TWC by the SC of ICG)
 מצב ביניים שבו מדינה מועמדת לשמש כספק התרעה לצונאמי. שינוי המעמד ל-
 'ספק התרעה' מותנה בהצגת יכולת ועמידה בדרישות ועדת ההיגוי של קבוצת
 התיאום הבין-ממשלתית.

Exercise - מסר תרגיל -
 מסר המופץ בתרגיל המדמה אירוע צונאמי. המסר דומה במבנה ובתוכן למסר
 אמת, אך בתחילתו מצוין שמדובר בתרגיל בלבד.

Messages - מסרים -
 הודעות המועברות ברשת התקשורת של המערכות הבינלאומיות להתרעה
 מצונאמי.

**מערכת ההתרעה הבינלאומית לצונאמי לחופי צפון מזרח האטלנטי, הים התיכון והימים
 המקשרים - NEAMTWS -North-East Atlantic, Mediterranean and
 connecting seas Tsunami early Warning and mitigation System**
 המערכת הבינלאומית להתרעה מצונאמי שישראל חברה בה מתוקף היותה חברה
 בוועדה הבינממשלתית לאוקיאנוגרפיה של הארגון הבינממשלתי UNESCO.
 מערכת זו אחראית להתרעה בצפון מזרח האוקיאנוס האטלנטי, בים התיכון
 ובימים המקושרים אליו כדוגמת ים המרמרה, הים השחור, הים האגאי, וכד'.

TWS - Tsunami Warning System - מערכת להתרעה מוקדמת מצונאמי -
 מערכת המשמשת להתרעה מצונאמי מוקדם ככל האפשר מרגע היווצרותו.

NTWC - National Tsunami Warning Center - מרכז התרעה לאומי מצונאמי -
 זהו הגוף הלאומי הנושא באחריות למתן התרעה מצונאמי בארצו.

INTWC - Israel - "נחשול נצפה" - מרכז לאומי להתרעה מוקדמת מצונאמי בישראל, Tsunami Early Warning Center
 המרכז הלאומי האחראי על הגדרת מצב ההתרעה לצונאמי בישראל. מרכז זה
 עומד בקשר עם ספקי האזהרה מצונאמי בעולם ובים התיכון והינו בעל יכולת
 הערכה וניתוח של המידע ומשמעותו בנוגע לסיכון להיווצרות צונאמי בישראל.

TWFP - Tsunami Warning Focal Point - נציג מוקד ההתרעה הלאומי -
 איש הקשר או כל כתובת רשמית אחרת שנקבעה על-ידי הממשלה של המדינה
 החברה בארגון, הזמינים 24/7 לקבלה מהירה והעברה מיידית של מסרים ומידע על
 אירוע צונאמי. איש זה הוא סמכות החירום האחראית על ביטחון הציבור, או
 הנושא באחריות להעברת מסרים לרשות החירום על מאפייני האירוע על פי הנוהל
 הלאומי.

TFP - Tsunami Forecast Points - נקודות חיזוי צונאמי -
 נקודות לאורך החוף שהוגדרו על ידי המדינות החברות בארגון ואשר עבורן הן
 מבקשות לקבל מספקי ההתרעה את זמן ההגעה המשוער של הצונאמי בהודעות
 ההתרעה.

סיכון - Risk

הנזק שעלול להיגרם כתוצאה מאירוע צונאמי משמעותי לבני אדם, מבנים ותשתיות מלאכותיים. הנזק תלוי בגודלה של הסכנה (hazard), ובמידת החשיפה (exposure) והפגיעות (vulnerability) של האוכלוסייה, המבנים והתשתיות.

סכנה - Hazard

האיום המושרה על ידי הצונאמי (כתופעת טבע) כתוצאה מגודלו, היקפו ועוצמתו.

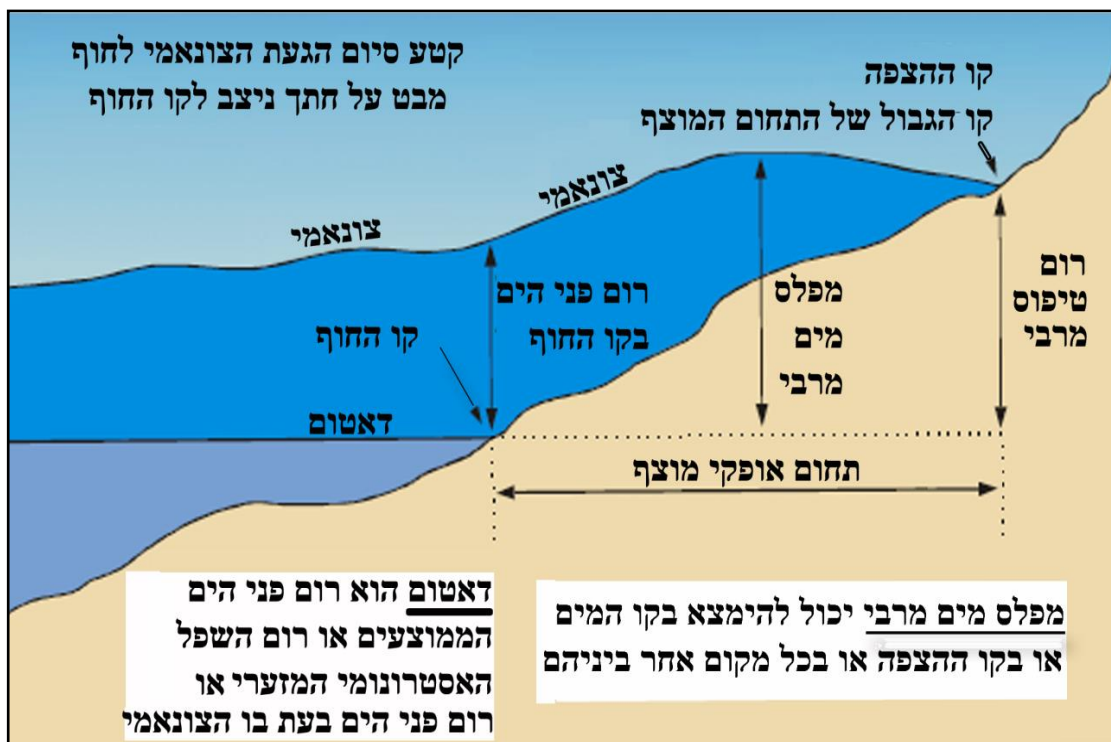
ספק אזהרה לצונאמי - TWP - Tsunami Watch Provider

זהו גוף המשמש כמרכז התרעה לאומי מצונאמי (NTWC) שהתנדב לספק התרעות מצונאמי לכל המעוניין מבין המדינות החברות בקבוצת התאום הבין-ממשלתית, ואושר ככזה על ידי ועדת ההיגוי (SC) של קבוצת התאום הבין-ממשלתית. המועמדים למעמד זה בעת הזאת בים התיכון הינם צרפת, טורקיה, יוון, ובעתיד הקרוב גם איטליה ופורטוגל.

פגיעות - Vulnerability

העמידות של האוכלוסייה, המבנים והתשתיות כנגד פגיעה מצונאמי.

פרמטרים אופייניים לתיאור כמותי של צונאמי בקרבת החוף



צונאמי אזורי - Regional Tsunami

צונאמי שטווח השפעתו עד 400 ק"מ ממוקד היווצרותו (באוקיאנוס האטלנטי מתייחסים לטווח השפעה של עד 1,000 ק"מ).

צונאמי מקומי - Local Tsunami

צונאמי שטווח השפעתו עד 100 ק"מ ממוקד היווצרותו.

צונאמי מרחבי - Basin-wide Tsunami

צונאמי שטווח השפעתו מעל 400 ק"מ ממוקד היווצרותו (באוקיאנוס האטלנטי מתייחסים לטווח של מעל 1,000 ק"מ).

IOTTEW - Israel – "מגדלור" – צוות התרעה לאומי לאירוע צונאמי בישראל**Operational Team for Tsunami Early Warning**

הצוות האופרטיבי שבאחריותו קבלת החלטה והפצה של התרעה לצונאמי בישראל, בהובלת משהב"ט – רח"ל.

NEAM - North-East - צפון מזרח האטלנטי, היס התיכון והימים המקשרים -**Atlantic and Mediterranean region**

המרחב הימי בו פועלת מערכת ההתרעה האירופאית-ים תיכונית.

ICG - Intergovernmental Coordination - קבוצת התאום הבין-ממשלתית -**Group (of UNESCO member States)**

הקבוצה המתאמת בין המדינות השותפות לארגון והפעלת מערכות ההתרעה מצונאמי באזור הימי בו הן מצויות. ישנן מספר קבוצות כאלה המוגדרות על פי הימים והאוקיאנוסים העיקריים בעולם.

רום טיפוס מרבי – Maximum run-up

הגובה הטופוגרפי המרבי אליו הגיעו המים כתוצאה מהצפת החוף ע"י הצונאמי.

שם לב - Information

זהו מסר המודיע על התרחשותה של רעידת אדמה חזקה באזור הפיקוח של ספק האזהרה מצונאמי והערכתו כי לא קיים איום להיווצרות צונאמי.

נספח ה' מאפיינים, סימנים מקדימים והנחיות התנהגות בעת צונאמי

להלן מאפיינים אפשריים לצונאמי, לאו דווקא הכרחיים בכל אירוע:

- א. הגל הראשון אינו בהכרח הגדול והגבוה ביותר.
- ב. מלבד הצפה של החוף תתכן גם ירידת מפלס ים ונסיגה משמעותית של קו המים, בתחילת האירוע או בשלבים מתקדמים יותר.
- ג. הצונאמי עלול להופיע בדרגות שונות במקומות שונים ועוצמתו משתנה עם הזמן. לכן אין להמעיט בהערכת הסיכון הנובע ממנו גם אם במקום או זמן מסוימים הוא נראה לכאורה חלש.
- ד. במקביל לגלים צפויים גם זרמים תת-ימיים חזקים, כולל במפרצים, נמלים, מעגנים, וכד'. הזרמים עלולים להימשך שעות רבות, גם לאחר שפני הים נרגעו לכאורה.
- ה. מהירות ההתקדמות של גל הצונאמי באזור החוף (כמה עשרות קמ"ש), גבוהה ממהירות ריצה של בן אדם ולכן אסור להתמהמה ויש להתרחק מהים מוקדם ככל האפשר.
- ו. גל הצונאמי אינו בהכרח גבוה יותר מגלי סערה רגילה, אך הוא ארוך הרבה יותר ולכן מביא לחוף כמויות מים גדולות יותר באופן משמעותי. בעוד שבסערה הגלים חוזרים ומופיעים מדי 8 - 15 שניות, גלי הצונאמי עלולים להמשך דקות ארוכות.
- ז. חזית הצונאמי עלולה להיראות כנד מים או שיטפון שמתקדם במהירות ובחזיתו סחף רב, צופת וגרופת המכילים שברים והריסות. במקרים אחרים ההצפה תראה כעליה מהירה של פני הים.

ישנם כמה מבשרים אופייניים לצונאמי וזיהויים בזמן אמת מאפשר להימלט למקום מבטחים מבעוד מועד.

- א. מרבית אירועי הצונאמי המשמעותיים בישראל התרחשו לאחר רעידת אדמה חזקה בבקע ים המלח. במקרים אלה הזעזועים החזקים של הרעידה בישרו על בואו של הצונאמי. למרות שבסופו של דבר לא כל הרעידות החזקות יצרו צונאמי, כדאי להתייחס לכולן כאל התרעת אמת, משום שהנזק הרב שהצונאמי עלול לגרום עולה על הטרחה הכרוכה באזעקת שווא.
- ב. בחלק מאירועי הצונאמי נראתה בשלב הראשון נסיגה משמעותית של הים תוך חשיפת שטחים ניכרים של קרקעית אזור החוף הרדוד, ומיד לאחר מכן הים שב והציף במהירות את החוף והיבשה הסמוכים. על כן יש לראות בנסיגת הים סימן אזהרה חד משמעי, ויש להתרחק מאזור החוף במהירות האפשרית.
- ג. הים מתנהג בשונה מהמוכר, וייתכנו מערבולות, זרמים מקבילים לחוף, וכדומה.
- ד. הצונאמי עלול להיות מלווה ברעש חזק.

הנחיות התנהגות במקרה של צונאמי או חשש מצונאמי מורות להתרחק מיד מהים, לעלות למקום גבוה, ולהמתין מספר שעות עד שהאירוע יסתיים. במידה ולא ניתן להתרחק מאזור החוף יש לעלות למקום גבוה ככל האפשר, עדיף למקום או מבנה אשר נראה חזק דיו כדי לעמוד בגל הצונאמי. הנחיות ההתנהגות פרטניות מופצות על ידי פיקוד העורף (<http://www.oref.org.il/10650-he/pakar.aspx>).

protection authorities and the public. It is of utmost importance to decide on a common language and terminology of the exchanged messages between the two centers and the Tsunami Watch Providers.

The scientific center should be implemented immediately at the Seismology Department of the Geophysical Institute of Israel, and so is the operational center under the responsibility of the National Emergency Management Authority (N.E.M.A, MOD).

We conclude this report by suggesting ways of how to increase Israeli public awareness to the possible risk of tsunamis and at the same time also promote their safe behavior through education and training.

ABSTRACT

This report includes the recommendations of the scientific committee which was appointed by the Head of the Earth and Marine Science Research Administration, according to the State of Israel Governmental decision No. 4738, to formulate a framework for a tsunami early warning system (“*Mayim Adirim*”) along the Mediterranean coast of Israel. The committee members were representatives of all the relevant governmental research institutes, academia, Ministry of Defense (MOD) and Home Front Command (HFC).

The report focuses first on evaluating the tsunami hazard to Israel, emphasizing the role of both earthquakes and near-shore submarine landslides on tsunami generation in the region, the probability of occurrence and the potential damage from tsunamis, and consequently recommends on the required policy, warning principles and frame of preparedness.

The main body of the report provides specific guidelines and detailed suggestions for the policy makers for the establishment of efficient ‘end-to-end’ Tsunami Early Warning procedures in order to improve public awareness and preparedness against tsunamis and extreme inundation events. Among the main suggestions are the formation of two new centers, one ‘scientific’ (“*Nachshol Nitzpeh*”) and the other ‘operational’ (“*Migdalar*”) that are responsible for monitoring and handling real tsunami events, both functioning 24/7. The scientific center (consisting of seismologists, oceanographers and geologists), is based on real-time scientific data obtained from ‘in-state’ monitoring systems as well as on ‘out-of-state’ early warning messages received from the Tsunami Watch Providers (TWP) that operate within the framework of the Intergovernmental Coordination Group of the North-Eastern Atlantic, the Mediterranean and Connected Seas (ICG/NEAMTWS).

The scientific center will inform the ‘operational’ center in real time as to the probability of tsunami occurrence and issue the proper alert messages. The operational center (consisting of MOD and HFC representatives) will in turn decide whether or not to issue a tsunami warning messages to the proper civil

Committee Members:

1. Dr. Amos Salamon, Secretary of the Committee, Geological Survey of Israel, Member of the Israeli Delegation to ICG/NEAMTWS
2. M.Sc., P.E. Sergiu Dov Rosen, Israel Oceanographic and Limnological Research, Tsunami National Contact and Head of the Israeli Delegation to ICG/NEAMTWS, and Member of the Steering Committee of ICG/NEAMTWS
3. Dr. Yefim Gitterman, Seismology Department, The Geophysical Institute of Israel, Representative of the Israeli Tsunami Warning Focal Point in ICG/NEAMTWS
4. Amir Yahav, Director, National Doctrine, Training, Exercises Division, National Emergency Management Authority (N.E.M.A), Ministry of Defense, Israel
5. Brigadier General Shalom Ben-Arieh, National Steering Committee for Earthquake Preparedness, Israel
6. Yossi Debutton, National Doctrine, Training, Exercises Division, National Emergency Management Authority (N.E.M.A), Ministry of Defense, Israel
7. Lt. Col. Dalit Dover, Head of the Engineering and Protection Branch, The Home Front Command
8. Major Michael Vatenmacher, Head of the Division of Engineering Protection and Engineering Rescue, The Home Front Command
9. Prof. Touvia Miloh, Chair of the Committee, Engineering Faculty, Tel-Aviv University

Committee Consultants:

1. Dr. Amir Givati, Head of the Surface Water and Hydrometeorology Department, Hydrological Service, Israel Water Authority, on the subject of River Flooding
2. Nir Stav, IMS Deputy Director, Head of the Department of Operational Meteorology, Israel Meteorological Service, on the Subject of 24/7 command room and GTS communication system

Joint report by:

1. Geological Survey of Israel (GSI), report GSI/16/2014
2. Israel Oceanographic and Limnological Research (IOLR), report H36/2014
3. Seismology Department, The Geophysical Institute of Israel (GII), report GII 030/797/14
4. National Doctrine, Training, Exercises Division, National Emergency Management Authority (N.E.M.A), State of Israel - Ministry of Defense
5. National Steering Committee for Earthquake Preparedness, Israel
6. Engineering and Protection Branch, The Home Front Command
7. The Faculty of Engineering, Tel-Aviv University
8. Hydrological Service, Israel Water Authority
9. Department of Operational Meteorology, Israel Meteorological Service



GII 030/797/14



GSI/16/2014



H36/2014



Recommendations on the Policy, Warning Principles and Frame of Preparedness for Tsunamis in Israel

The Scientific Committee for Formulating Policy of Early
Warning Principles for Tsunami Hazards in Israel

Amos Salamon, Sergiu Dov Rosen, Yefim Gitterman, Amir Yahav,
Shalom Ben-Arieh, Yossi Debutton, Dalit Dover, Michael Vatenmacher,
Touvia Miloh

Jerusalem, September 2014

Published by the Geological Survey of Israel, 30 Malche Israel St.,
Jerusalem 95501, Israel

Front Picture: Tsunami Hits Fukushima Nuclear Power Plant

Cover Design: Nili Almog

In a photograph released by Tokyo Electric Power Co. on May 19, 2011, tsunami waves approach the Fukushima Daiichi nuclear power plant near its No. 5 reactor on March 11, 2011 in Fukushima Prefecture, Japan.

Source:

http://content.time.com/time/photogallery/0,29307,2058823_2276624,00.html

