

דוח מסכם לוועדת ההיגוי להיערכות לרעידות אדמה בישראל

בנושא:

מפה מסכמת של סיכוני רעידות אדמה בעיר חיפה וסביבתה

במסגרת פרויקט מספר 29-02-023, חלק ג'

מחברים:

עריכה: עמוס סלמון, המכון הגיאולוגי

העתקה פעילה: מיפוי גיאולוגי: עמיחי סנה

הגברה: יולי זסלבסקי וחוב'

חתכים סיסמיים: בני מדבדיב ואורי פריזלנדר

מידע מקידוחים: דב צביאלי

הגברה: יולי זסלבסקי וחוב'; זהר גבירצמן

יציבות מדרונות: עודד כץ וחוב'.

התנזלות: עמוס סלמון וחוב'; סם פרידמן וחוב'

צונאמי: עמוס סלמון

עריכת GIS: אופיר ברוך

תוכן העניינים

ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.....	תקציר
3	1. מבוא
4	2. רקע גיאולוגי
4.....	2.1 סטרטיגרפיה וליתולוגיה
5	3. גורמי הסיכון הסיסמי
5.....	3.1 קריעת פני שטח
6.....	3.2 תאוצות קרקע ותופעות של הגברה
8.....	3.3 כשל במדרון - יציבות מדרונות
9.....	3.4 פוטנציאל ההתנזלות
11.....	3.5 האזור המועד להצפה מצונאמי
12.....	4. מפת מסכמת של סיכוני רעידות אדמה בחיפה וסביבתה
13.....	4.1 הערות למפת הסיכונים
13.....	5. המלצות תכנוניות
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.....	5.1 המלצה לגבי מעמדו של העתק הכרמל
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.....	5.2 DC נלווה
ERROR! BOOKMARK NOT DEFINED.....	6. תודות
14.....	7. ביבליוגרפיה

1. מבוא

הגיאולוגיה של העיר חיפה ועמק זבולון והקשר הידוע בין הגיאולוגיה לסיכוני רעידות אדמה מעוררים חשש שהעיר חיפה והקריות נמצאים באזור מסוכן. יתר על כן, הקירבה היתרה בין מרכזי האוכלוסיה למפעלים הפטרוכימיים וריכוזי חומרים מסוכנים בעמק זבולון עלולים לגרום שם לאסון פתע רב נפגעים (אפרי"ן) במקרה של רעידת אדמה. על כן נראה שזהו האזור בעל הסיכון (risk) הגבוה ביותר במדינת ישראל. מחקרים ראשונים אשר בחנו את הסיכון הסיסמי (hazard) באזור בססו חשש זה והבהירו את הצורך בחקירה יסודית של הסיכון כדי להגדיר את אופיו והשתרעותו המרחבית, ולהציע דרכים למיזעורו.

תשומת לב רבה משך העתק הכרמל כתוצאה מהופעתו המרשימה בנוף, רעידת אדמה בינונית במגניטודה 5.3 שארעה בשנת 1984 ופעילות סיסמית חלשה לאורך זמן (איור 1) בסביבתו הטקטונית הקרובה (Hofstetter et al., ...), ועדויות גיאומורפולוגיות לפעילות ניאוטקטונית (אכמון, 1986; אשקר-חלאק, 2009). מסיבות אלה הוגדר העתק זה כ- "חשוד כפעיל" (ברטוב וחוב' 2009). אולם, מאחר והעתק הכרמל חוצה את העיר חיפה לאורכה וקיים חשש שזהו למעשה העתק "פעיל" במונחים של התקן הישראלי ת"י 413, נדרש למצות את החקירה לגבי מעמדו זה. דיון נרחב בסוגיה זו הוצג על ידי היימן (2002).

אולם, גם אם בדיעבד יסתבר שהעתק הכרמל אינו פעיל, אין להמעיט בחומרת הסיכון הסיסמי בעמק זבולון משום שרעידת אדמה חזקה בעמק הירדן, כ- 50 קמ' מזרחית לחיפה והקריות, עדיין עלולה לגרום לתגובת קרקע חריפה שם. המודעות לחומרת הסיכון עלתה בעקבות מספר מחקרים, מבניהם יש לציין את סימן טוב (1989) אשר בחן את רגישות התשתית להתנזלות בעמק זבולון, בדיקות תגובת אתר ממוקדות בהזמנת גופים מסחריים ופרטיים (דוגמאות באתר המכון הגיאופיסי: <http://www.seis.mni.gov.il/heb/siteEffectZone/index.html>), סקרי סיכון ממוקדים (למשל, סלמון וחוב', 2001), תסקירי השפעה על הסביבה (למשל בנמל חיפה), חקירה ממוקדת של הסיכון להתנזלות (היימן...BSF), וכדומה. עבודות שעסקו בניתוח מרחבי של הסיכון הסיסמי הצביעו גם הן על עמק זבולון כאזור חריג, כך למשל, וקס (1993) ציין שהאזור חשוף לעוצמות סיסמיות גבוהות במיוחד כתוצאה ממבנה התשתית שם, סנה וחוב', כל אלה העלו את הנושא לתודעה הציבורית...

לפיכך, נקבע נושא זה בראש סדר העדיפויות של ועדת ההיגוי הממשלתית להיערכות לרעידות אדמה בישראל, והוקצו משאבים לחקירת חמשת גורמי הסיכון הסיסמי העיקריים באזור מפרץ חיפה: א. העתקה פעילה; ב. תנודות קרקע; ג. יציבות מדרונות; ד. התנזלות; ה. צונאמי. ההתעסקות הממוקדת בהעתק הכרמל גררה אחריה מחקרים נוספים בנסיון ללמוד על אופיו של ההעתק והטקטוניקה שם (למשל, מערת דניה, קידוחי הנמל העמוקים, התרוממות הכרמל, שקיעת המפרץ).

2. רקע גיאולוגי

הכרמל ומפרץ חיפה הינם חלק מהמרכיבים ראשיים במערכת הטקטונית הגדולה ביותר בישראל אשר מתפצלת מבקע הירדן (איור 2). מערכת זו המכונה רצועת המעוות כרמל-פריעה, מורכבת ממספר רב של העתקים היוצרים מערכת בקעים כאשר עמק זבולון הוא הצפון מערבי מבניהם. עבודות רבות דנו במהותה ובמשמעותה של מערכת זו וחלקה ביצירת ההבדל שבין המחוזות הטקטוניים שמצפון ומדרום לה, תוך התייחסות למבנה, הרכב והתכונות הגיאופיזיות של הקרום, גיל היווצרות המערכת והתפתחותה עם הזמן, והבנת התהליכים העכשוויים אשר מתרחשים בה (Freund, 1970; Folkman, 1976; Ben-Avraham and Ginzburg, 1990; Hofstetter et al., 1991; Ginzburg et al., 1994; Achmon and Ben-Avraham, 1997; Ben-Avraham et al., 2002; Matmon et al., 2003; וסלמון, 1993). כמו כן הוצע שמערכת זו קדמה בהיווצרותה לבקע, והיא נמשכת גם לצידו המזרחי של בקע הירדן לאורך ואדי סירחאן, תוך שהיא מוסטת כמידת התנועה היחסית לאורך טרנספורם ים המלח (להוסיף שגב – לייחובסקי-ריבקוב...).

הגורם העיקרי אשר משפיע על הטקטוניקה העכשווית של אזור חיפה וסביבתה הוא העתק הכרמל אשר נמצא בקצה הצפון מערבי של מערכת הכרמל-פריעה, הוא גובל את רכס הכרמל מצפון מזרח מול גרנן יזרעאל וזבולון (Picard and Kashai, 1958) ועליו מתרחשת התנועה היחסית ביניהם. בדרום מזרח ההעתק חבוי ברובו בתת הקרקע, אולם בהמשכו לצפון מערב הוא נחשף בפני השטח כאשר הזריקה האנכית עליו הולכת וגדלה עד כדי קילומטר וחצי בעמק זבולון. ההעתק ממשיך עוד צפון-מערבה לתוך הים תוך שהוא חוצה את מדף היבשת וייתכן גם את מדרונה (Ben-Avraham and Hall, 1977; Schattner, 2006).

2.1 סטרטיגרפיה וליתולוגיה

רכס הכרמל לצדו של העתק יגור מורכב בעיקר מדולומיט, גיר, קרטון וחואר של חבורת יהודה מגיל אלביאן עד טורון, וקרטון וחואר של חבורת הר הצופים מגיל סנון, כאשר מרבית היחידות מאופיינות בשינויי פאציאס (Picard and Kashai, 1958), Karcz (1959), קשאי (1966) and Bein (1978) Sass and Sneh et al. (2000) שגב ושש (2006). כמו כן מצויים במקומות רבים סלעים וולקניים, טופים ופירוקלסטים, שגילם מהקנומן ועד הסנון (שש, 1957; Segev et al., 2002). יחידות סלע צעירות יותר כמעט ואינן חשופות באזור הכרמל וזה מקשה על פענוח ההיסטוריה המאוחרת של האזור, כולל הבנת הטקטוניקה העכשווית של העתק הכרמל. גם הכיסוי האלוביאלי, קולוביאלי ופרישת הקרקעות לאורך מדרונות רכס הכרמל ובקרבת ההעתק מועטה למדי וכך גם מניפות הסחף במוצאי הערוצים שמנקזים את מורדות הכרמל הללו.

החתך הרדוד בעמק זבולון (תיאור מפורט אצל כפרי ואקר, 1964) שונה לחלוטין מהחתך הסמוך בכרמל. זהו חתך צעיר שהצטבר בתוך גרנן הקישון מתחילת הניאוגן בסביבה אופיינית של ים רדוד הקרוב ליבשה, לאחר שהעתק הכרמל החל בפעילותו. החתך מורכב מסדימנטים גיריים, קירטונים

חוראיים, כמויות גדולות של קונגלומראטים, ואף אופוריטים. בפליסטוקן התווספו לחתך גם חרסיות ואבני חול גיריות. החתך בעמק זבולון המקביל לזה החשוף בהר הכרמל נמצא ככל הנראה קבור עמוק בתת הקרקע, הוא נצפה באמצעים גיאופיסיים בלבד וטרם נדגם בקידוחים.

3. גורמי הסיכון הסיסמי

מבחינים בחמישה גורמים עיקריים שעלולים לגרום לנזק למבנים ותשתיות בעת רעידת אדמה חזקה ואלה מהווים הבסיס למפת הסיכונים המסכמת של אזור העיר חיפה וסביבתה. בפרק זה מוצגים סקירה של המחקרים שנעשו במסגרת הערכת הסיכון הסיסמי באזור חיפה ועמק זבולון ומפת הסיכון שמתבססת על מחקרים אלה.

3.1 קריעת פני שטח

זוהי שבירה של פני השטח והעתקה של הסלעים משני צדי מישור השבר כתוצאה מרעידת אדמה. ההסטה היחסית של גופי הסלע משני צדי ההעתק נעה בין מספר מילימטרים לעשרות סנטימטרים (ברעידות אדמה במגניטודה 6 – 6.5) ועד למספר מטרים (מגניטודה 7 – 7.5). סוג התנועה היחסית בין הסלעים משני צדי ההעתק מגדיר את אופיו של ההעתק, כאשר תזוזה אופקית משקפת החלקה של גושי סלע זה לצד זה, התרחקות של גושי הסלע זה מזה מבטאת מתיחה (העתק נורמאלי) והתקרבות הגושים זה לזה מציינת לחיצה (העתק הפוך).

לקריעת פני השטח אין פתרון הנדסי פשוט, והיא עלולה לגרום לגזירה של מבנים ויסודותיהם המצויים על גבי ההעתק ולקריסתם המידית. על כן אוסרים תקני הבניה, כולל התקן הישראלי - ת"י 413 (גרסה חדשה משנת 1995 ועדכונים נוספים מאוחרים יותר), על הקמת מבנים מאוכלסים על גבי או בקרבה מידית להעתקים שעלולים ליצור רעידות אדמה. על פי התקן הישראלי (ת"י 413, 1995 ותיקונים 1 – 3), העתק מוגדר כ- "פעיל" במידה וארעה עליו רעידת אדמה ב- 11,000 השנים האחרונות. במידה והפעילות עתיקה יותר או שקיימות עדויות נסיבתיות אחרות לפעילותו בעת הגיאולוגית האחרונה, ועדיין קיים חשש שיפעל ברעידת אדמה, אזי ההעתק מוגדר כ- "חשוד כפעיל" (ברטוב וחובי, 2002).

הקושי והבעייתיות הכרוכים בבחינת מעמדו של העתק הכרמל כלפי התקן הישראלי נובעים ככל הנראה מקצב פעולתו האיטי ביחס לתהליכי עיצוב הנוף והפיתוח האינטנסיבי באזור אשר מקשים על מציאת סמנים גיאולוגיים שיעידו מתי ובאיזו עוצמה הוא פעל לאחרונה, אם בכלל. גם בחינת פעילותו של העתק זה מהיבטים מורפוטקטוניים אשר עשויים ללמד על אופי פעולתו ולאתר מקומות מתאימים לחקירה פליאואסיסמית ממוקדת (איור 3 מתוך: אשקר-חלאק, 2009); חקירה פליאואסיסמית נקודתית במקומות שנמצאו חשודים במיפוי המורפוטקטוני (זילברמן וחובי...); בחינת

תנועות קרום עכשוויות בעזרת תצלומי לוויין (איור 4, מתוך: נוף וחוב'...); ובחינה מחודשת של הפעילות הסיסמוטקטונית באזור (שמיר, ...) עדיין לא הביאו לפריצת דרך.

אומנם נמצאו לא מעט תופעות שמרמזות על פעילות ניאוטקטונית, אולם טרם נמצאה עדות חד משמעית כי העתק זה אכן פעל בהולוקן. לפיכך, אי הוודאות לגבי מועד רעידת האדמה החזקה האחרונה על העתק זה נותרה בעינה ומבחינה רשמית הוא עדיין מוגדר כ- "חשוד כפעיל".

ראוי לציין שבמקביל לפעילות במסגרת ועדת ההיגוי, נערכו בארץ מחקרים נוספים אשר דנו בפעילות הטקטונית העכשווית באזור הכרמל, בכוונה להרחיב את הידע בנושא. מבניהם אפשר לציין את התרוממות הכרמל בצידו המערבי (גלילי, צביאלי, משיח, השקיעה במפרץ חיפה (סנדלר, צביאלי,). בחינת משקעי מערות במערת דניה על הכרמל מעלה כי... אולם עדיין לא ניתן לפסול על הסף שזה נגרם כתוצאה מרעידת אדמה חזקה על בקע הירדן (בראון...).

גם איתור התוואי המדוייק של ההעתק בקנה מידה מפורט אינו פשוט למרות המורדות התלולים של הר הכרמל שנשמכים אליו. לכאורה נראה שההעתק עובר במגע שבין התשתית הסלעית של ההר לכיסוי האלוביאלי בעמק ואולם ממצאים מתת הקרקע בשולי העמק, מרמזים שההעתק מרוחק כמה עשרות עד מאות מטרים ממורדות ההר לכיוון שולי העמק. מיפוי מפורט של תוואי ההעתק על פי מידע מתת הקרקע אשר כולל נתוני קידוחים, חתכים סיסמיים רדודים בהפרדה גבוהה וחתכי תגובת אתר (סלמון וחוב', 2011) אכן תומך בהשערה זו. איורים 5, 6 מציגים את הממצאים ממיפוי זה, תוך ציון מרחב אי הוודאות בו נמצא ההעתק.

3.2 תאוצות קרקע ותופעות של הגברה

תנודות קרקע כתוצאה ממעבר גלים סיסמיים מהוות גורם סיכון הרסני במרבית רעידות האדמה, וזאת עקב התפשטותם של הגלים הסיסמיים על פני מרחבים גדולים מסביב למוקד הרעידה ואי התאמתם של מבנים לעמוד בפני הזעזועים הללו. עוצמתן של התנודות תלויה במגניטודה של הרעידה, במרחק מהמוקד, בעומק המוקד בתת הקרקע ובמנגנון המכאני של הרעידה.

בשנים האחרונות התברר שבתנאי תשתית מסוימים מתרחשת הגברה של הגלים הסיסמיים והחמרה של הנזק. מחקרים הראו שהתגובה הספציפית של אתר נתון תלויה בעיקר במבנה שכבות הסלע והקרקע הרדודים (עשרות עד כמה מאות מטרים), בפרט כאשר הרכב החתך הגיאולוגי כולל שכבות של סלעים רכים (בעלי מהירויות סיסמיות נמוכות) על גבי סלעים קשים (בעלי מהירויות סיסמיות גבוהות). מבנה שכזה גורם לתהודה של הגלים הסיסמיים בשכבה העליונה הרכה, הגברה בעוצמתם ועליה במשך הזמן עד לדעיכתם. גורמים נוספים שעלולים להגביר את עוצמתן של התנודות הסיסמיות הם למשל מבנה של אגנים ותעלות? עמוקים בתת הקרקע, טופוגרפיה הררית או תלולה, וכדומה.

ההבנות הללו מאפשרות לאתר מראש את האזורים בהם קיים פוטנציאל להגברת התנודות הסיסמיות על בסיס הגיאולוגיה והטופוגרפיה המקומיים, ולהפיק מפות סיכון איכותיות או כמותיות, כתלות במידע על התכונות הגיאוטכניות והסיסמיות של שכבות הסלע ובמודלים הקיימים לחיזוי.

החתך הסטרטיגרפי הרדוד בעמק זבולון, אשר כולל סלעים רכים בפני השטח וסדרה של סלעים קשים יותר מתחתם, יוצר תנאים להגברה מקומית של התנודות הסיסמיות (site effect). מאחר והחתך אינו אחיד ברחבי העמק, קיים קושי לאפיין את מידת ההגברה מראש באופן כמותי. זאת ועוד, עמק זבולון הינו למעשה אגן סטרוקטורלי הממולא בסלעים רכים על גבי תשתית של סלעים קשים ובכך מאפשר תנאים גם להגברת אגן (basin effect).

כדי להתמודד עם הקושי בהערכת סיכון זה ולקבל נתונים על אופי הגברת תנודות הקרקע באופן בלתי אמצעי, נערכו מדידות תגובת אתר נקודתיות ברשת צפופה (איור 7) ונבנתה מפת הגברה נסיונית (empiric). במקביל, כדי להבין טוב יותר את התנאים להגברה ולאפשר חיזוי מאפייני ההגברה על בסיס מודל תלת מימדי של תת הקרקע, נערך שיחזור מפורט של מבנה תת הקרקע. על בסיס מבנה זה בוצעו חישובים של מאפייני ההגברה המקומית וכן הורצו תרחישים לדימוי הגברת האגן (גבירצמן...).

מימד נוסף של הגברה אשר טרם נבדק הוא מידת השפעתה של הטופוגרפיה. הניסיון מלמד שמבנים טופוגרפיים מסויימים עלולים להגביר את התנודות הסיסמיות ולכן עד אשר יבדק הנושא באופן ישיר לגבי הכרמל, מומלץ להתייחס לחלקו העליון של רכס הכרמל כבעל פוטנציאל להגברה טופוגרפית.

הכנת מפה מפורטת של הסיכון הסייסמי בעמק זבולון הנובע מתגובת האתר התבצעה במסגרת מספר פרויקטים בשנים 2004-2008. זיהוי תדר התהודה וההגברה של שכבות קרקע נעשו בשיטת היחס הספקטראלי בין הרכיבים האופקיים לרכיב האנכי של תנודות רעש רקע (שיטת נקמורה) וככל שניתן היה גם בעזרת הסינגל של רעידות אדמה חלשות ו/או רחוקות. בסך הכל בעמק זבולון נמדדו כ-1,250 אתרים בצפיפות של 250-500 מטרים בין נקודות המדידה. הממצאים מלמדים שמבנה תת הקרקע בעמק זבולון מורכב ביותר: זוהו חמש יחידות ליתולוגיות כשכבות מחזירות ביחידות סטרוקטורליות שונות (הורסטים וגרביים) ועובי משקעים כולל אשר משתנה בטווח רחב במיוחד מ-10 ועד 600 מ'. כתוצאה מכך קיים מספר רב של אזורים סייסמיים השונים זה מזה במידת ההגברה ובתדירות בה מתרחשת הגברה זו (איור 8).

פרוט הממצאים

בשנים 2004 - 2005, נערכו בעמק זבולון והקריות 480 מדידות רעש רקע בשטח של כ-250 קמ"ר וזוהו שני גורמי הגברה יציבים בעקומות היחס הספקטראלי שמקורם בקיומן של שכבות עמוקות ורדודות עם מהירויות גלי גזירה גבוהות (Zaslavsky et al, 2006). תדר התהודה הבסיסי משתנה בשטח הנחקר בטווח 0.4-5 הרץ ומידת ההגברה נעה בין 2 ל-5. השינוי המרחבי של התדר השני נמצא בטווח 1-8 הרץ ושיעור ההגברה התואמת מגיע מ-2 עד 10. ככל הנראה, המחזיר הבסיסי העמוק שיוצר את התגובה המקומית של הקרקע הוא גג חבורת יהודה ואילו תדר ההגברה השני קשור בשכבות של משקעים רכים מעל קירטון חבורות הר-הצופים ועבדת. בגרבו הקישון, נמצא שהמחזיר העמוק הוא

גג תצורת ציקלג ואילו התדר השני קשור במורפולוגיה של אבן חול גירית של חבורת כורכר. השינויים התכופים בתדר ההגברה ובצורתה של עקומת היחס הספקטראלי מוסברים בשינויי פציאס ועומק של חתך השכבות בתת הקרקע ובאי רציפות של מודל תת הקרקע כתוצאה מהעתקים. מחקרים נוספים שנעשו לאורך חתכים מאפיינים בעמק זבולון (Zaslavsky et al., 2007a,b) תמכו גם הם בממצאים הללו.

בשנת 2008 נערך סיכום של כלל המחקרים באזור גרבו הקישון ואפק (Zaslavsky et al., 2008) ו-Hofstetter et al., 2008) ופותרו מודלים של תת הקרקע למרבית נקודות מדידה בעזרת השוואה פרטנית של פונקציות תגובת אתר אנליטית וניסיונית (אלגוריתם אופטימיזציה סטוכסטית). המודלים שימשו לחישוב ספקטרום תאוצות בשיטת Stochastic Estimation of Earthquake SEEH (Hazard) אשר מציגה הערכה של הסיכון הסייסמי לאתר נתון כספקטרום התאוצות בבניינים בעל מקדם ריסון נתון (בדרך כלל 5%) כאשר כל אחד מערכי התאוצה הספקטראלית הוא בעל הסתברות זהה להתרחש באתר הנבדק לפחות פעם אחת בפרק זמן נתון (מקובלת הסתברות של 10% ב- 50 שנים). בהתבסס על אנליזה השוואתית של תאוצות ספקטראליות מחושבות, חולק אזור עמק זבולון ל-40 אזורים סייסמיים כאשר כל אזור אופייני במודל תת הקרקע וספקטרום תאוצות כלליים.

ככלל נמצא שכל אזור עמק זבולון מועד להגברת התאוצות הסייסמיות, הן על פי מדידות תגובת אתר (איור 9 מתוך: זסלבסקי וחובי, ...) והן על פי ניתוח המבנה הגיאולוגי (איור 10 על פי גבירצמן וזסלבסקי, 2009).

3.3 כשל במדרון - יציבות מדרונות

תנועה מהירה של סלעים או קרקע במדרון (גלישת מדרון), המתרחשת בעת רעידות אדמה היא תופעה הרסנית המוכרת מרעידות אדמה בעולם ומדווחת גם מרעידות היסטוריות בישראל. בכדי להעריך את כמות הנפגעים ועוצמת הנזק הצפויים בישראל, ובכלל זה באזור חיפה, ברעידת אדמה עתידית ועל מנת למזער אותם יש לנתח ולהבין את הסיכון הסייסמי הנובע מגלישות מדרון.

קיים מגוון רחב של תנועות חומר במדרון והוא מאופיין על ידי שלושה טיפוסים עיקריים: גלישה (Slide), כאשר יחידת חומר שלמה נעה במורד המדרון; זרימה (Flow) כאשר החומר נע במורד כמו זורם צמיגי, בדרך כלל כאשר תכולת המים בו גבוהה; וזחילה (Creep) כאשר החומר נע באיטיות. כמו כן מוכרות נפילות סלע (Rock fall) אשר מתרחשות כאשר מסת סלע סדוקה החשופה במדרון תלול מתפרקת ובלוקים של סלע נפרדים מהמדרון התלול ונופלים נפילה חופשית כלפי מטה. ככלל, אופן תנועת החומר מטה תלוי ביחס שבין האופי המכאני של החומר הנע (מוצק, זורם, סדוק) והכוחות הפועלים עליו (תאוצת הכובד ו/או תאוצות ממקור סייסמי).

הימצאותם של מדרונות תלולים למרגלות הכרמל ונוכחותם של סלעים חלשים מבחינה גיאוטכנית, באזור החשוף לתאוצות סייסמיות משמעותיות, מעלים חשש לאי יציבות דינאמית במדרונות. מספר

מקרים של התמוטטות ברעידה של 1984, מאששים חשש זה. נושא זה נבדק על ידי כץ (...) והאזורים החשודים סומנו.

המפה המצורפת (איור 11) מציגה את דרגת הרגישות להתפתחות גלישות מדרון באזור העיר חיפה וצפון רכס הכרמל (קני"מ 50,000:1). במפה עשר דרגות רגישות, כאשר I מציין רגישות נמוכה להתפתחות גלישות מדרון בעת רעידת אדמה ו-X מציין רגישות גבוהה מאוד. קביעת דרגת הרגישות בכל אזור מתבססת על יחסי הגומלין בין אופי הסלע החשוף, הטופוגרפיה והמבנה הגיאולוגי. פירוט לגבי שיטת הניתוח והתוצאות לגבי אזור חיפה וצפון רכס הכרמל מצוי בדוח המכון הגיאולוגי GSI/03/06. פירוט לגבי דרגות הרגישות מצוי בדוח המכון הגיאולוגי GSI/08/08. ניתוח של כלל אזור צפון ישראל (קני"מ 200,000:1) מצוי בדוח המכון הגיאולוגי GSI/38/06.

הניתוח הנוכחי מראה כי הסכנה להתפתחות גלישות מדרון בעת רעידת אדמה היא למעשה זניחה במפרץ חיפה ועמק זבולון ובכלל זה בעיר עכו ובקריות, ובינונית בחלקים של העיר חיפה ובצפון רכס הכרמל. בחיפה, השכונות הבנויות לאורך שדרת רכס הכרמל ושיאי השלוחות הפונות מערבה וצפון-מזרחה, נמצאות בסכנה נמוכה להתפתחות גלישות-מדרון ברעידות אדמה הודות לשיפועי מדרון מתונים יחסית וחשיפה של סלעים מיחידות חזקים יחסית. חלק משכונות העיר הבנויות על או למרגלות המורדות הצפוניים, הצפון מזרחיים או המערביים של הכרמל נמצאות בסכנה לפגיעה מגלישות מדרון ברעידת אדמה חזקה. בכלל זה: מעלה שכונת עין הים, השולים המערביים של העיר התחתית, רוממה, רמות רמז, חלקים מתל-חנן ובן דור, השולים המזרחיים של טירת הכרמל, קצה מזרחי של שכונת נווה דוד וקריית שפרינצק.

גלישות מדרון באזורים הרגישים הנ"ל ייגרמו על ידי רעידות אדמה במגניטודה (MW) 5.5 ומעלה על העתק הכרמל ורעידות במגניטודה 7 ומעלה בבקע ים המלח, בקטע בין מרכז-הבקעה ודרום-לבנון. רעידות חלשות יותר או רחוקות יותר נמצאות בגבול היכולת שלהן לגרום לגלישות מדרון. פירוט נוסף לגבי אופי רעידות האדמה שיגרום לגלישות מדרון באזור חיפה וצפון רכס הכרמל מצוי בדוח המכון הגיאולוגי GSI/03/06.

ניתוח הסכנה לעיל מתייחס למדרונות טבעיים. במרחב עירוני, התערבות הנדסית במדרונות הטבעיים עלולה להחליש אותם. במצב כזה הסכנה להתפתחות גלישות מדרון ברעידת אדמה גדלה. כלומר, יתכן והסכנה בשטח הבנוי בעיר גדולה מהסכנה שחושבה עבור המדרון הטבעי. עוד חשוב לציין כי קנה המידה של המפה המוצגת הוא אזורי, והיא לא באה להחליף או לייטר סקרים נקודתיים הנדרשים לצרכי פיתוח הנדסי ובנייה.

3.4 פוטנציאל ההתנזלות

התנזלות הינו תהליך שבו סדימנט גרגרי רווי במים, מאבד את חוזקו ומתנהג כנוזל בזמן זעזוע סיסמי חזק. התנזלות מתרחשת כאשר מתקיים השילוב של סדימנט גרגרי בלתי מלוכד, מי תהום הקרובים

לפני השטח ותאוצות קרקע חזקות. בעת רעידת אדמה חזקה חל גידול פתאומי בלחץ הנוזלים בחללים שבסדימנט, והסדימנט בעל המרכיב הבלתי מלוכד אשר היה עד לאותו רגע תמוך גרגר מאבד את חוזקו והופך לנוזל.

עיקר הגורמים המשפיעים על פוטנציאל ההתנזלות בקרקע טבעית הם: גודל הגרגרים והתפלגות הגדלים שלהם, צפיפות החומר, תכולת המרכיב החרסיתי הנלווה לגרגרים והמינרלוגיה שלו, עומק מפלס מי התהום מתחת פני הקרקע, ואופייה של רעידת האדמה – בעיקר תאוצת הקרקע ומשך הרעידה אשר משקף את מספר התנודות הסיסמיות הצפויות. מכאן שלתכונות תשתית הסלע, דרגת הרעידה ומרחק האתר ממוקד הרעידה יש חשיבות רבה.

בעמק זבולון יש פוטנציאל להתנזלות כתוצאה מנוכחותו של חול דיונות צעיר רווי במי תהום רדודים והאזור חשוף לתאוצות סיסמיות גבוהות כתוצאה מרעידת אדמה על העתק הכרמל או בבקע הירדן. זאת ועוד, נמל חיפה וחלק מהעיר שבקרבנו נבנו על גבי תשתית באזור שהיה ים ויובש באופן מלאכותי, וזהו מצב רגיש במיוחד להתנזלות...

הערכה גיאוטכנית וגיאולוגית של הסיכון להתנזלות במפרץ חיפה ועמק זבולון נעשתה במשותף על ידי המכון הלאומי לחקר הבנייה בטכניון והמכון הגיאולוגי הישראלי, במסגרת ועדת ההיגוי הבין משרדית להיערכות לרעידות אדמה. סלמון (...) ופרידמן וחוב' (...).

ההערכה התבססה על לוגים של קידוחים שהתקבלו מיועצי קרקע מתוך חקירות תשתית (שתית) שביצעו לצורכי תכנון ביסוס לפרויקטים שונים באזור. מתוך הלוגים שהתקבלו נקבעו קטעי החול בחתך הקרקע ונתחו תוצאות של בדיקות להחדרה תקנית (SPT) בחול רווי אשר בוצעו בקטעים אלה. הניתוחים נעשו עבור רעידות אדמה במגניטודה 6 ו-7, הגורמות לתאוצת קרקע מירבית (PGA) של 0.3g, 0.4g, ו-0.5g בפני השטח. בשלב הראשון הוערכו מאמצי הגזירה המחזוריים (CSR) הצפויים להתפתח בקרקע בעומק מסוים, ובשלב השני הוערכה ההתנגדות להתנזלות (CRR) באותו העומק. בסוף כל ניתוח חושב מקדם הביטחון (FS) נגד התנזלות המתאים לכל בדיקה, אשר הוגדר כיחס בין הערך של CRR לערך של CSR.

שני המקורות לתנודות סיסמיות באזור שבהם התחשבנו הם מערכת העתקי טרנספורם ים המלח אשר כבר יצרה רעידות אדמה חזקות בעבר ההיסטורי והעתק הכרמל (יגור) שבקירבתו אומנם נרשמה בעת האחרונה פעילות סיסמית בינונית אך עברו ההיסטורי ויכולתו ליצור רעידת אדמה חזקה אינם ברורים. על פי קשרי ניחות שמתבססים על הניסיון שנצבר ברעידות אדמה חזקות שאירעו במערב ארצות הברית ואשר אומצו לצורך המחקר הנוכחי, הוערך שתאוצת הקרקע המרבית שתתרחש באזור חיפה ועמק זבולון כתוצאה מרעידה במגניטודה 6 שמוקדה על העתק הכרמל צפויה להגיע לערכים של $0.16g \pm 0.24g$, והתאוצה המירבית הצפויה כתוצאה מרעידה במגניטודה 7 על טרנספורם ים המלח צפויה להיות $0.14g \pm 0.2g$. נוסף על כך, כתוצאה מהתשתית הרכה במערב עמק זבולון, תתכן שם הגברה משמעותית. על סמך הערכות אלה נראה לנו סביר לבסס את מפות הפוטנציאל להתנזלות על ערכי תאוצה של $a_{max} = 0.3g$ עבור שני המקרים.

תוצאות החישובים מראות כי במקרה של $a_{max} = 0.3g$ ברעידת אדמה במגניטודה 6, מקדמי הביטחון בשליש מהקידוחים שנבדקו נמוכים מ-1 ($FS < 1$) ואילו במגניטודה 7 בתאוצה דומה, מקדמי הביטחון נמוכים מ-1 בכמצצית מהקידוחים. לפיכך ניתן לקבוע כי בעמק זבולון קיימת סכנה מוחשית להתנזלות כתוצאה מרעידת אדמה חזקה !

ההערכה הגיאולוגית התבססה על החתך הסטריטיגרפי המפורט, הגיאולוגיה והגיאוגרפיה הנוכחית בעמק זבולון, ולפיה הוגדרו שלושה אזורים בהם קיים פוטנציאל להתנזלות ונערכה מפה של האזורים הרגישים הללו :

א. **מילוי מלאכותי** באזור ימי שיושב. האזור מופה על סמך השוואה בין מיקום קו החוף במפות מתקופות היסטוריות לבין מיקומו במפות עדכניות.

ב. **חול רדוד** הולוקני, שמוצאו בנילוס, חלקו דיונות וחלקו ימי. חול הדיונות חשוף בפני השטח.

ג. **חול עמוק** לא מלוכד, אשר מופיע לחילופין בין שכבות כורכר דקות מהפלייסטוקן המאוחר.

בחינת העומקים בהם מופיעות השכבות בעלות מקדם הביטחון הנמוך ביותר בכל אחד מהקידוחים ביחס למיקומם הגיאוגרפי של הקידוחים באזורי הרגישות להתנזלות, מראה שתי מגמות: (1) תחום רדוד, מפני השטח ועד עומק של 9 מ', באזור החול ההולוקני הרדוד ובאזור הים אשר יובש באופן מלאכותי; (2) תחום עמוק, מעל 15 מ', בסביבת החול העמוק שבין שכבות הכורכר מהפלייסטוקן המאוחר. מכאן אפשר להניח באופן איכותי שקיימת התאמה בין ההערכה הגיאוטכנית וההערכה הגיאולוגית.

מאחר שפריסת הקידוחים באזור הסקר אינה אחידה, לא ניתן לקבוע באופן כמותי ושיטתי כי כל מערב עמק זבולון רגיש להתנזלות. אולם ההתאמה בין עומק השכבות בהן נמצא מקדם הביטחון הנמוך ביותר בקידוחים שנבדקו לבין אזורי הרגישות שהוגדרו על פי הנתונים הגיאולוגיים, מאפשרת להסתמך על ההערכה הגיאולוגית ולהניח שפוטנציאל להתנזלות אכן קיים בכל אחד מאזורי הרגישות, גם במקומות בהם עדיין לא נעשתה הערכה גיאוטכנית.

על כן מומלץ להתייחס למפת האזורים שהוגדרו כרגישים להתנזלות (איורים 12, 13) כאל "אזורים בהם נדרשת חקירה גיאוטכנית להתנזלות". מפת זו יכולה לשמש ככלי עזר לתכנון סביבתי, עירוני, תכנון היערכות למצבי חירום, ניתוח סיכונים למערכות תשתית וכדומה. אולם, בשל אופייה האיכותי, לא תוכל המפה לשמש לקביעת פרמטרים לתכנון הנדסי ולמטרה זו יידרש סקר אתר מפורט.

3.5 האזור המועד להצפה מצונאמי

צונאמי הוא גל ארוך מאד שמתפתח בים לאורך כל גובה עמודת המים כתוצאה מהפרעה חריפה ופתאומית בגוף המים או בקרקעית הים, כאשר המקור להפרעה יכולה להיות רעידת אדמה חזקה, גלישה גדולה מהיבשה לים או בקרקעית הים, התפרצות געשית ואף פגיעת מטאוריט.

ככל שגל הצונאמי גבוה יותר ו/או ארוך יותר, יכולתו להציף גדולה יותר. המקומות שבהם הטופוגרפיה של החוף מתונה והתכסית שעליו דלילה, יהיו חשופים להצפה נרחבת יותר. מצוק החוף יבלום את הצונאמי למרגלותיו, בשעה שמוצאי נחלים לים יספגו הצפה עמוקה יותר, עד כדי מספר קילומטרים במקרי קיצון.

קיימות עדויות היסטוריות על צונאמי בעכו ובמקומות אחרים לאורך חוף הים התיכון של ישראל ועל כן סביר להניח שגם מפרץ חיפה נפגע בזמנו במידה זו או אחרת. במפרץ מצויים נמלי חיפה, הקישון ועכו, ולאורך החוף ניתן למצוא ריכוזי אוכלוסיה ותשתיות. מאחר וחוף המפרץ רחב ובעל שיפוע מתון, והוא כולל את פתחי הנחלים של הקישון והנעמן, יש להניח כי אזור זה יהיה חשוף להצפה מצונאמי גם בעתיד.

הסיכון לצונאמי במפרץ חיפה נבחן על רקע המידע ההיסטורי הקיים כמו גם הסכמה הסיסמוטקטונית של מזרח הים התיכון והבתימטריה של מדרון היבשת של ישראל (Salamon et al., 2007). עבור כל אחד מהמקורות שזוהו בניתוח ההיסטורי וכן גם המקורות שאותרו כגורמים אפשריים לצונאמי במזרח הים התיכון שאין לגביהם עדויות על פעילות מהעבר, הורף תרחיש ממוחשב של האירוע הקיצון ביותר בהתאם למימדים הגיאומטריים של המקור (Thio, 2009). המקורות שנמצאו כראשיים כוללים רעידות אדמה מהקשת ההלנית והקשת הקפריסאית וכן גלישות אפשריות במדרון היבשת של ישראל אשר עשויות להיות מופעלות על ידי רעידת אדמה בבקע הירדן. גורמים אחרים שנבחנו, כגון גלישות ורעידות אדמה בדלתא של הנילוס, סיציליה והר האטנה, נמצאו משניים בהשפעתם, הן מבחינת מימדי ההצפה והן בשל זמן החזרה הארוך שלהם.

מפת האזורים המועדים להצפה במפרץ חיפה אשר נבנתה על בסיס התרחישים הללו (איורים 14, 15) כוללת את שילוב כל מקרי הקיצון האפשריים ומשקפת בכך את הסיכון הנובע מסך כל האירועים האפשריים (סלמון, 2009). זוהי מפה שמרנית והיא מציגה למעשה את הסיכון החזוי החמור ביותר, ללא תלות בזמן. מפת הסיכון נערכה ברזולוציה התואמת לשריג התבליט הממוחשב (DTM) אשר שימש בסיס להרצת התרחישים. חשוב לציין כי השריג אשר שימש להרצת התרחישים היה גם למדי ועל כן זוהי מפה ראשונית בלבד, אך אפשר בעזרתה לזהות את אזורי הסיכון ולאתר מבנים ותשתיות החשופים לסיכון זה.

4. מפת מסכמת של סיכוני רעידות אדמה בחיפה וסביבתה

הקהל הנדרש לשימוש במפות הסיכון, בעיקר מתכננים לסוגיהם, אינו בהכרח בעל רקע גיאולוגי-סיסמי, ומלבד סיכוני רעידות אדמה נדרש להתייחס למידע רב נוסף מתחומים אחרים. על כן הצורך בהצגת המידע בתחום סיכוני רעידות אדמה באופן מרוכז, פשוט ונוח.

במקרה הנוכחי מוצג המידע על גבי שתי מפות, כאשר מפה אחת מרכזת בכפיפה אחת את המידע הקיים לגבי גורמי הסיכון מסוג קריעת פני שטח, כשל במדרון, התנזלות וצונאמי (איור 16). נושא

הגברת תאוצות הקרקע מורכב יחסית ומשום כך מוצג על גבי מפה זו באופן כללי בלבד תוך ציון כללי של האזור המועד להגברות חריגות ואילו הפרוט מלא מוצג במפה נפרדת (איור ...).

4.1 הערות למפת הסיכונים

- א. באזורי הסיכון המוצגים בעבודה הנוכחית מצויים תנאים גיאולוגיים המעידים על פוטנציאל סיכון בעת רעידת אדמה חזקה.
- ב. הסיכון הסיסמי תלוי בהרכב התשתית המקומית והתכונות הגיאוטכניות שלה, ובאופי רעידת האדמה. הנתונים המוצגים כאן איכותיים במהותם ועל כן לכל צורך הנדסי יש לערוך סקר אתר כמותי ולהגדיר את הפרמטרים ההנדסיים לתכנון ולבניה.
- ג. סיכוני רעידות אדמה הם תופעה מורכבת. על כן יתכן כי אזורים מסוימים בעלי פוטנציאל סיכון טרם זוהו כראוי באמצעים העומדים לרשותנו כיום. לכן מוצע לבחון מעת לעת באם הצטבר מידע סיסמי, גיאולוגי וגיאוטכני חדש בנושא.
- ד. אזורי הסיכון מופו על סמך המידע הקיים במפות ובגישות המדעיות הנוכחיות. מטבע הדברים, הגדרת הגבולות וקווי המגע בין אזורי הסיכון כרוכה באי וודאות הנובעת מפרוט הנתונים במפות המקור עליהן התבססה העבודה הנוכחית, טשטוש פני השטח כתוצאה מבליה טבעית ופיתוח הנדסי, עירוני וחקלאי אינטנסיבי.
- ה. קיימת אפשרות שפרמטרים לתכנון הנדסי אשר יתקבלו בסקר נקודתי ימצאו מחמירים ביחס לנדרש בתקן הישראלי. במצבים כאלה מוצע להחמיר ולתכנן לפי ממצאי הסקר המקומי.
- ו. מפת הסיכון הנוכחית אינה מתייחסת לסיכונים גיאולוגיים שאינם ממקור סיסמי, כמו למשל הצפה כתוצאה משיטפונות, יציבות סטאטית של מצוקים או מדרונות תלולים, נוכחות של תופעות קרסט וכדומה.

5. המלצות תכנוניות

מרבית גורמי הסיכון נבחנו באופן איכותי או חצי-כמותי במטרה להצביע על האזורים בהם קיימים תנאי סף להתרחשותם, ולא ניתן לשלול לחלוטין אפשרות זו. לכן מומלץ להגדיר אזורים אלה כ-"אזורים בהם נדרשת חקירה גיאוטכנית" (Zones of required investigation), כדי לברר את מידת הסיכון בפועל. במרבית המצבים הסיכון אינו חמור בהכרח, אולם יש לברר את מידת הסיכון הזה באופן כמותי. ברור שאם בסקר נקודתי אכן נמצא שקיים סיכון ממשי, אזי יש להעריך אותו באופן כמותי כפי הנדרש לתכנון המבוקש, ולדאוג למזעור הסיכון וצמצום הנזק האפשרי (למשל על ידי תכנון מתאים, הכשרת קרקע וכד').

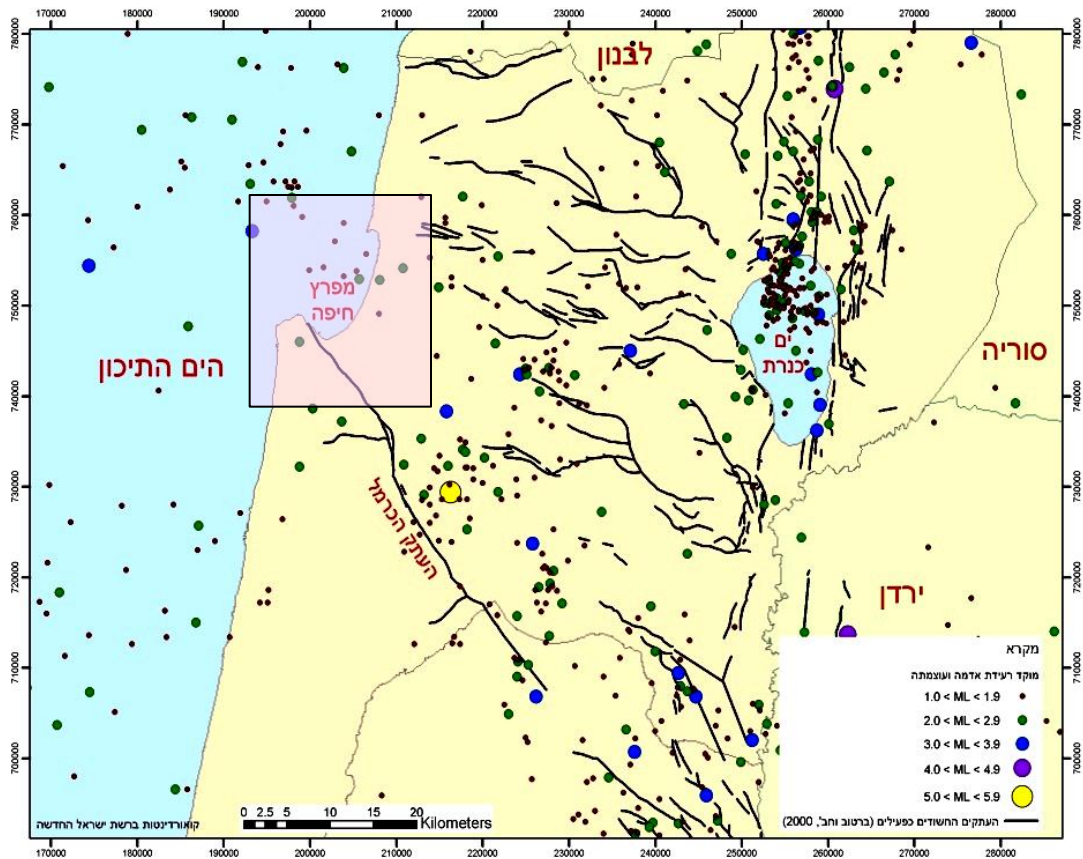
הטמעת ממצאי הסקר במערכת התכנון והפיכת המפה לכלי עזר בהליכי התכנון אפשרית בעזרת ניסוח הנחיות ותקנות אשר יחייבו את המתכננים להתחשב בסיכון זה. כמו כן, ההנחיות והתקנות יתנו בידי הרשויות כלים מתאימים לתכנון, לבקור, לפקח ולאכוף את הנדרש לטיפול בסיכונים הסיסמיים. בעת גיבוש ההנחיות והתקנות יש לתת את הדעת לגבי המגבלות שצוינו לעיל.

6. ביבליוגרפיה

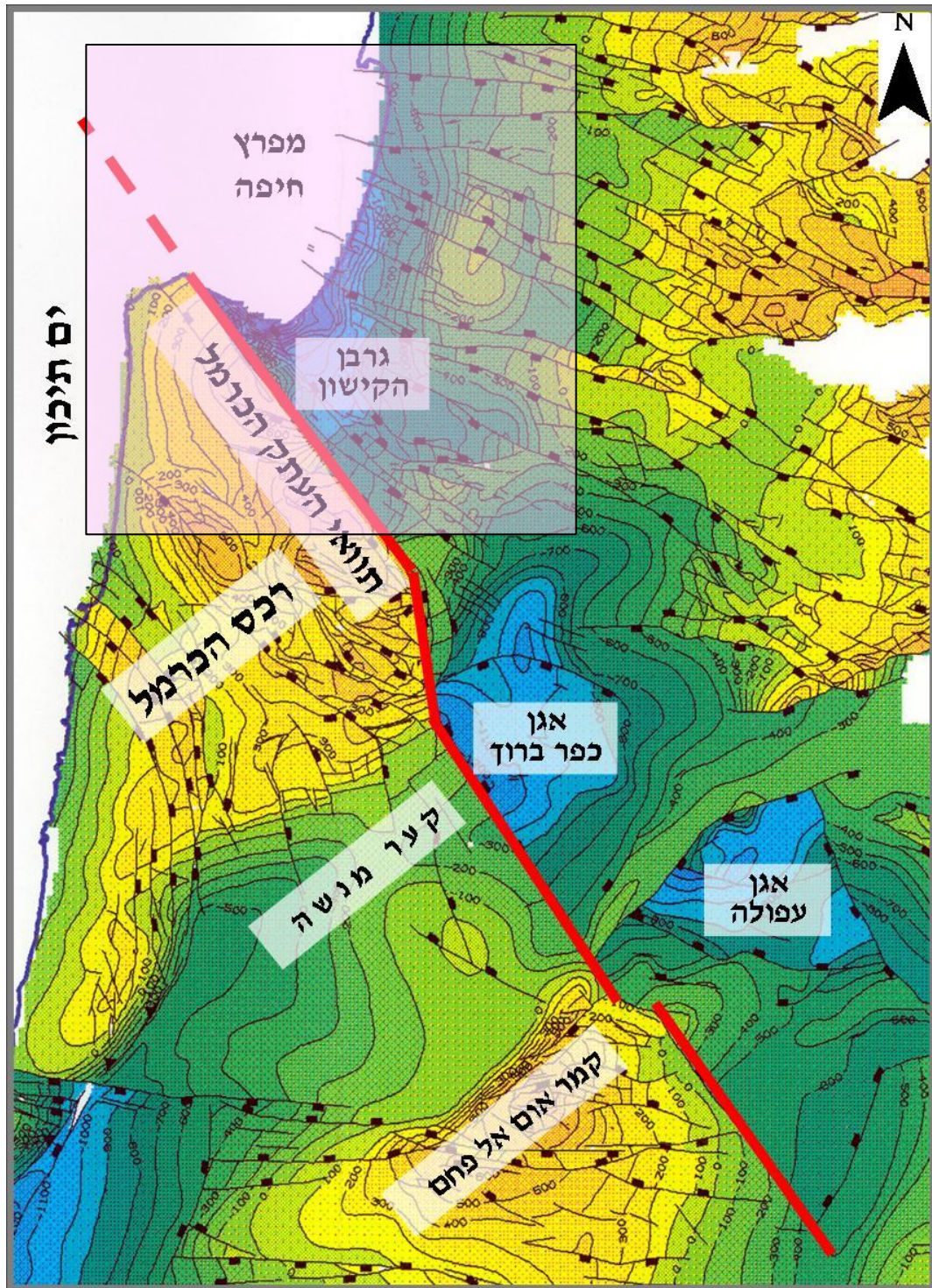
- ברטוב, י., סנה, ע., פליישר, ל., ארד, ו. ורוזנזפט, מ., 2002. ההעתיקים החשודים כפעילים בישראל. המכון הגיאולוגי, דו"ח מס' GSI/29/2002.
- גבירצמן, זהר. הקשר בין הגברה סיסמית ומבנה תת-הקרקע בשפלת החוף בישראל. תמצית מדו"ח ביניים שהוגש לוועדת ההיגוי להערכות לרעידות אדמה. המכון הגיאולוגי, ירושלים, 2003.
- היימן, א., 2002. העתקה פעילה בישראל: העתיקים פעילים וחשודים כפעילים, והצעה לתקן בניה בקרבתם – מודגם על מפרץ חיפה. המכון הגיאולוגי, דוח מס' GSI/7/02.
- וקס, ד., 1993. עוצמות סייסמיות (אינטנסיטי) מרביות במרכז ובצפון ישראל, המכון הגיאולוגי, דוח מס' GSI16/93.
- זילברמן...
- כץ, ע., אלמוג, ע., 2006. הערכת הסכנה לגלישות-מדרון בעיר חיפה וצפון רכס הכרמל. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/03/2006.
- כץ, ע., אלמוג, ע., 2006. מפת סכנה ארצית לגלישות מדרון בישראל; גיליון צפוני, קני"מ 200,000:1. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/38/2006.
- כץ, ע., הכט, ה., אלמוג, ע., 2008. בסיס נתונים עבור תכנת HAZUS לתרחישי רעידות אדמה בישראל: מפה גיאוטכנית ומפה של רגישות המדרונות לישראל. המכון הגיאולוגי, דוח GSI/08/2008.
- סלמון, ע., 2009. האזורים המועדים להצפה מצונאמי לאורך חופי הים התיכון של ישראל במפרץ חיפה, גוש דן, אשדוד ואשקלון. המכון הגיאולוגי, דוח ...
- סלמון, ע. ונעמן, י., 2006. האזורים המועדים להתנזלות בעמק זבולון, דו"ח מסכ"מ, מוגש לוועדת ההיגוי הממשלתית להיערכות לרעידות אדמה, המכון הגיאולוגי, GSI/06/2006, 24 עמ' ואיורים.
- פרידמן, ס., סלמון, ע., צביאלי, ד., ביטון, ר. וכץ, ע., 2007. הערכה גיאוטכנית של פוטנציאל התנזלות בעמק זבולון. מוגש לוועדת ההיגוי הממשלתית להיערכות לרעידות אדמה, המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/09/2007, 45 עמ'.
- שגיא...
- ת"י (תקן ישראלי) 413, 1995. תכן עמידות מבנים ברעידת אדמה, מפה מעודכנת של תאוצות שיא, עדכון 08/02. המכון הגיאופיסי לישראל, <http://192.116.243.250/heb/default.html>.

Ataev, G., Aksinenko, T., Zaslavsky, Y., Gorstein, M., Kalmanovich, M., Perelman, N., Giler, D., Dan, H., Giller, V., Livhits, I., Shvartsburg, A., 2008. Exploration of sedimentary layers and reconstruction of subsurface structure by ambient

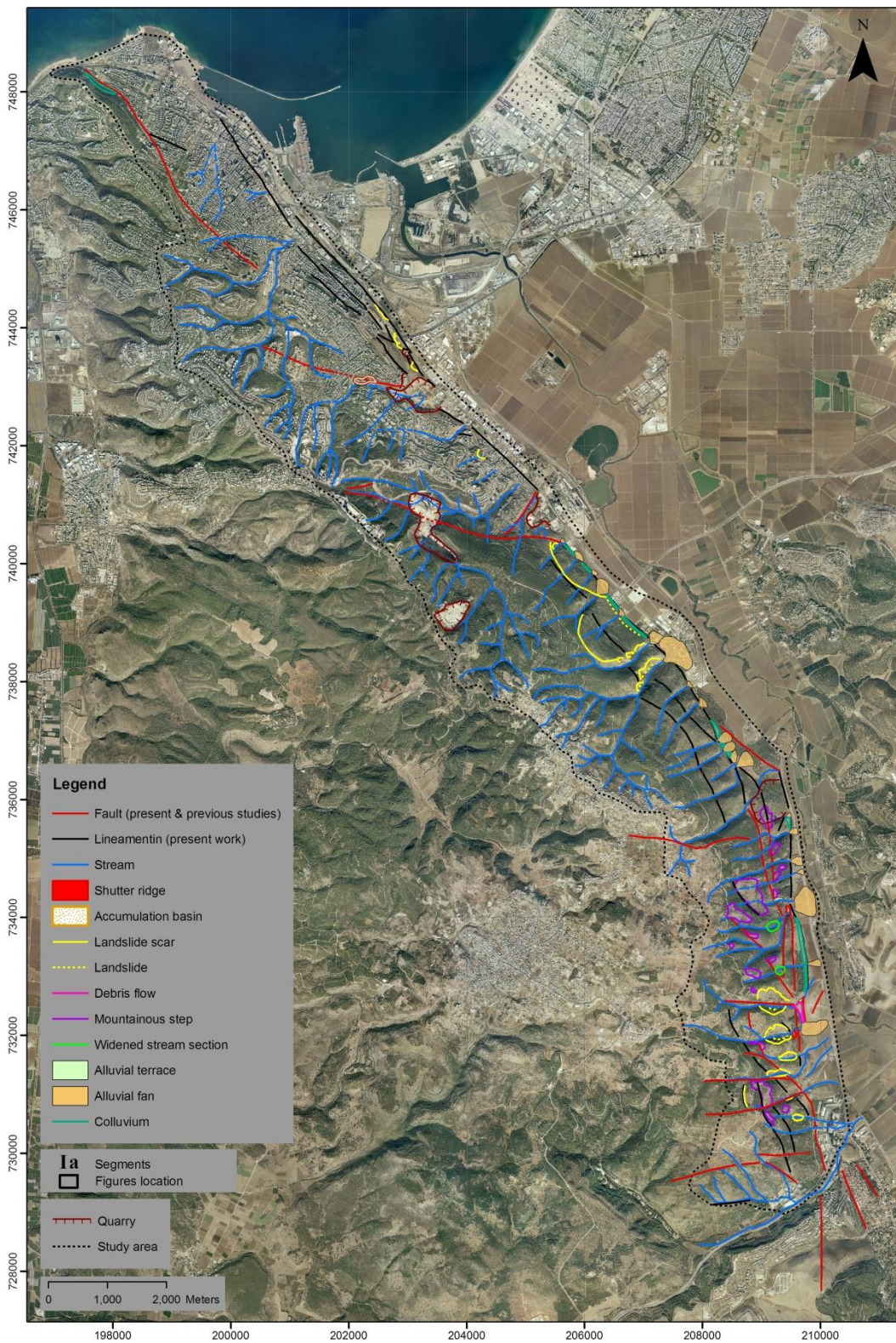
- vibration measurements for microzoning of the Afek area. GII report 508/388/08. Prepared for Earth Sciences Research Administration. November 2008
- Heimann, A., Frydman, S., Wachs, D., and Talawani, P., 2001. Seismic hazard evaluation of the Haifa and Eilat Bay areas, Israel. Geological Survey of Israel, Report GSI/40/2001.
- Dr. A. Hofstetter, G. Ataev, T. Aksinenko, Dr. Y. Zaslavsky, M. Gorstein, M. Kalmanovich, D. Giller, I. Dan, N. Perelman, V. Giller, I. Livshits, and A. Shvartsburg, 2008, Exploration of Sedimentary Layers and Reconstruction of Subsurface Structure by Ambient Vibration measurements for Microzoning of the Afek Area, No 510/388/08, 42pp
- 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, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 97, No. 3, p. 705-724, doi: 10.1785/0120060147.
- Sneh, A., Bartov, Y. and Rosensaft, M., 1998. Geological Map of Israel, 1:200,000, Sheet 1. Geological Survey of Israel.
- Thio, H. K., 2009. Tsunami hazard in Israel. Prepared for the Geological Survey of Israel, by URS Corp., Pasadena.
- Zaslavsky, Y., Aksinenko, T., Gorstein, M., Hofstetter, A., Kalmanovich, M., Perelman, N., Giller, V., Livshits, D., Ataev, G., Dan, I., Shvartsburg, A. 2006. Empirical Determinations of local site effect using ambient vibration measurements for the earthquake hazard and risk assessment to Qrayot-Haifa areas. Geophys. Ins. Isr. 595/064/06.
- Zaslavsky, Y. T. Aksinenko, G. Ataev, M. Gorstein, M. Kalmanovich, D. Giller, I. Dan, N. Perelman, V. Giller, I. Livshits, and A. Shvartsburg, 2008. Empirical determination of site effects for seismic hazard assessment in Kishon Graben area close to Carmel fault. GII Report No 510/389/08, 45pp.



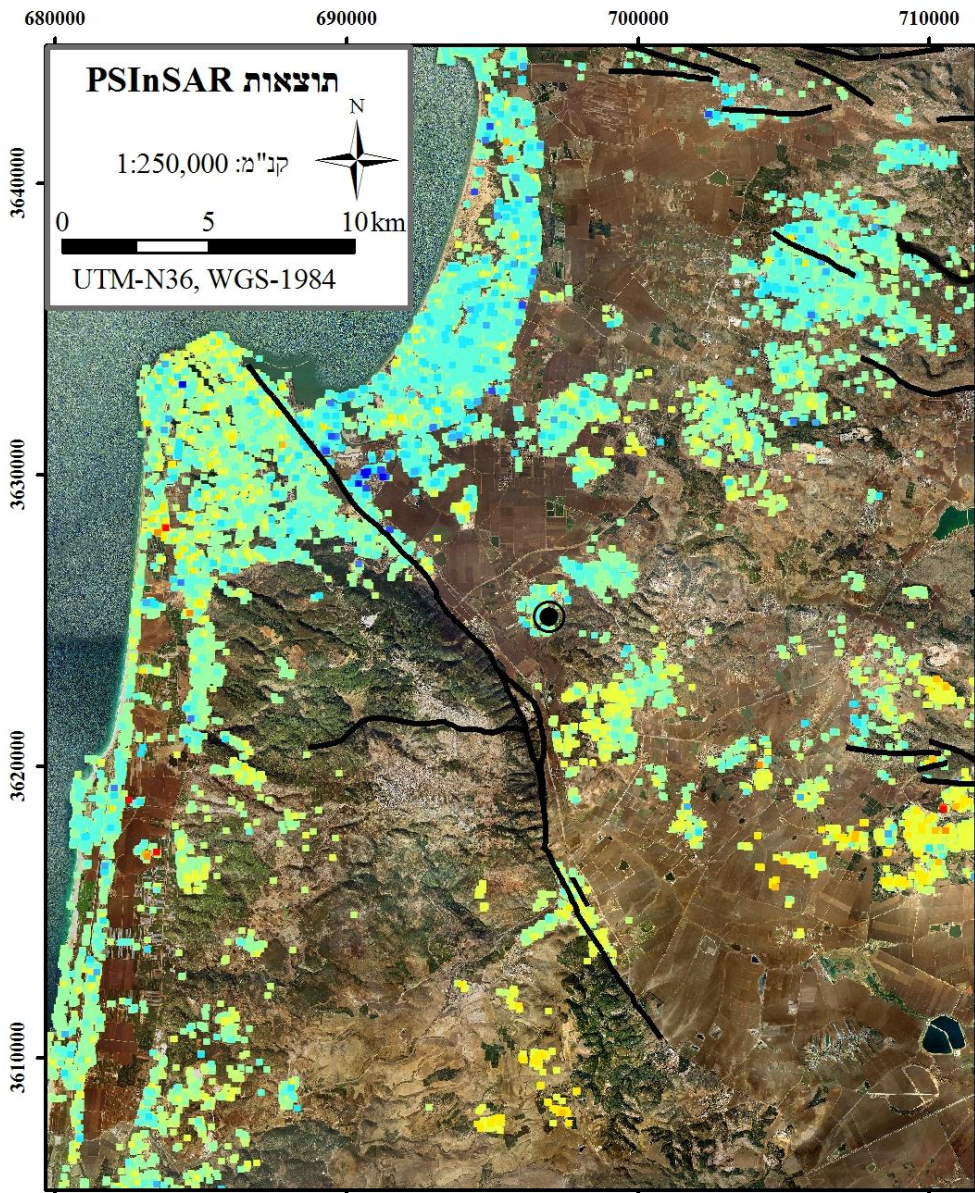
איור 1: העתקים חשודים כפעילים (ברטוב וחובי, 2002) ומוקדי רעידות אדמה במגניטודה $M > 2.5$, בשנים 1984–2002 בצפון ישראל כפי שנרשמו על ידי המכון הגיאופיסי (איור מתוך אשקר-חלאק, 2009). מפות הסיכון מתייחסות לאזור חיפה ועמק זבולון כפי שמסומן בריבוע הצבעוני.



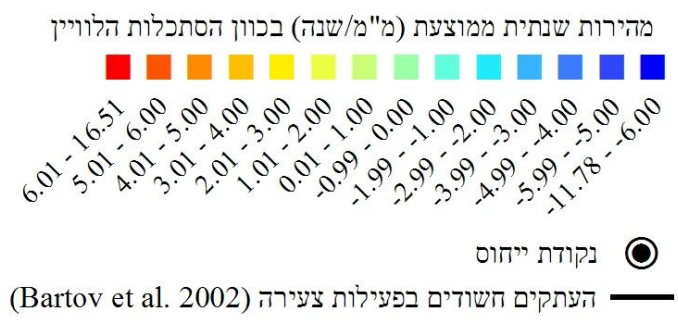
איור 2: תוואי סכמאטי של העתק הכרמל והמבנים הסמוכים אליו, מסומנים על גבי המפה הסטרוקטורלית של גג חבורת יהודה (Fleischer and Gafsou, 2003). לקוח מתוך אשקר-חלאק, 2009). מפות הסיכון מתייחסות לאזור חיפה ועמק זבולון כפי שמסומן בריבוע הצבעוני.



איור 3: אלמנטים מורפוטקטוניים סביב העתק הכרמל (מתוך: אשקר-חלאק, 2009)



מקרא:

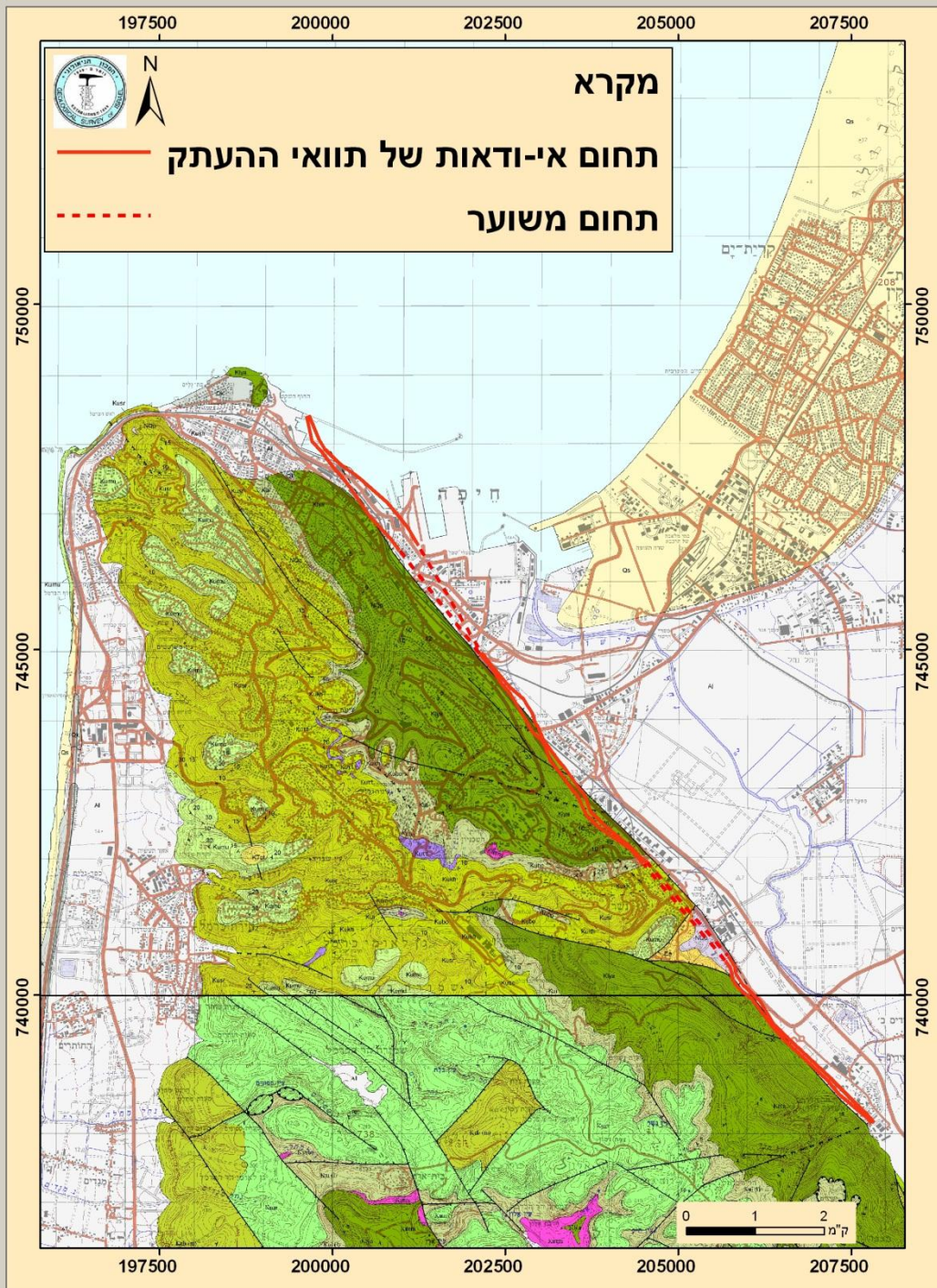


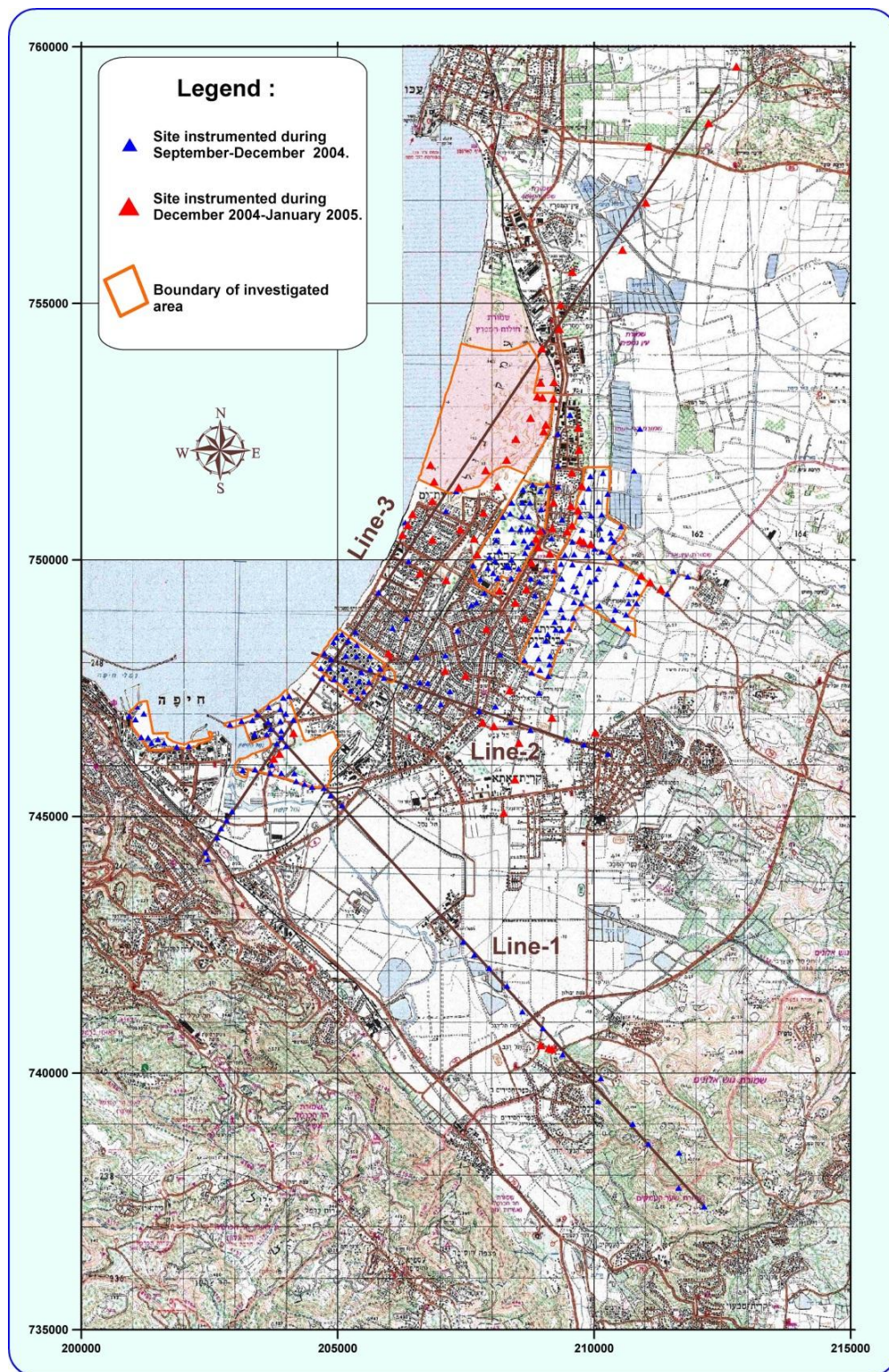
איור 4: זיהוי תנועות קרום עכשוויות לאורך העתק הכרמל בעזרת אינטרפרומטריה של רדאר (InSAR). מתוך: נוף (נוביצקי וחובי, ...)

איור 5: מיקום משוער של העתק יגור באזור חיפה על-גבי תצלום אורתופוטו

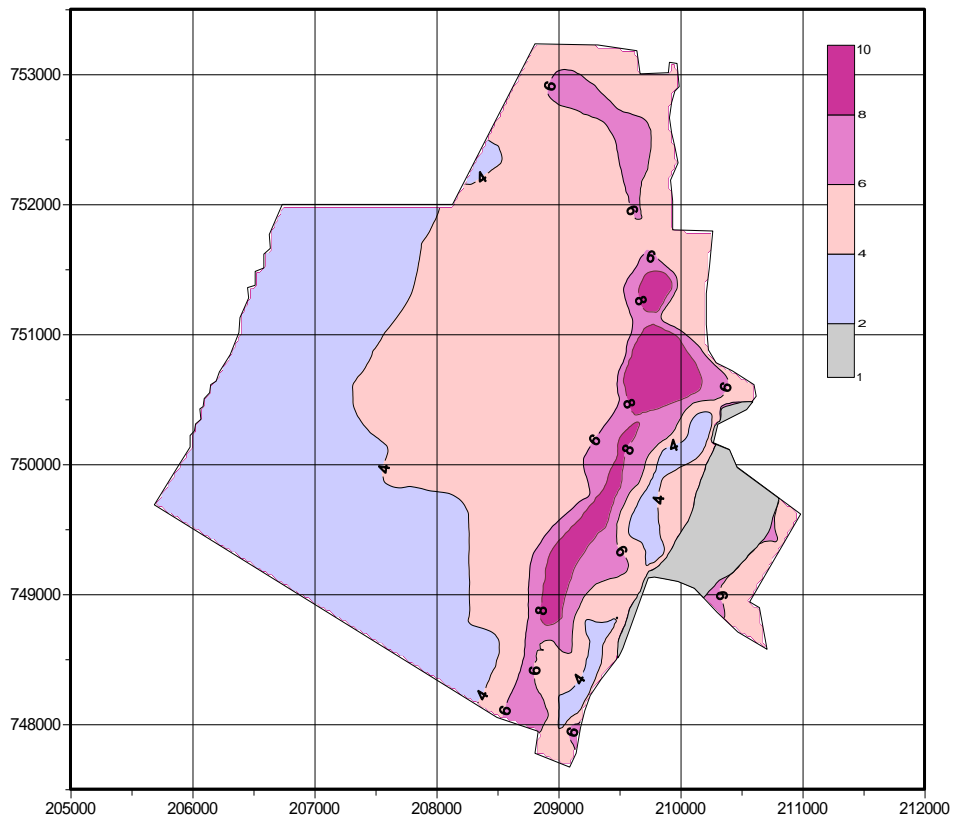
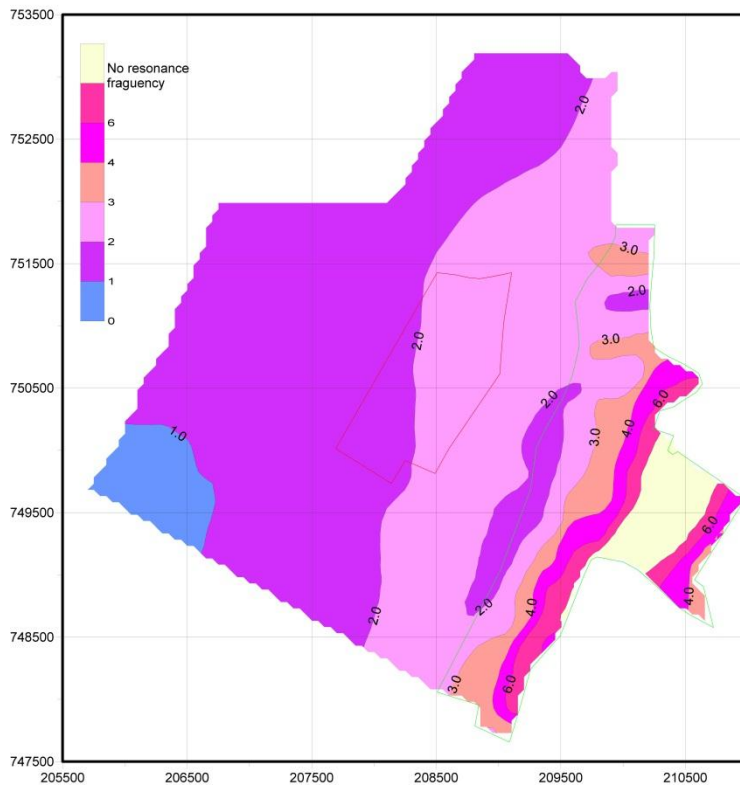


איור 6: מיקום משוער של העתק יגור באזור חיפה על-גבי מפה גיאולוגית



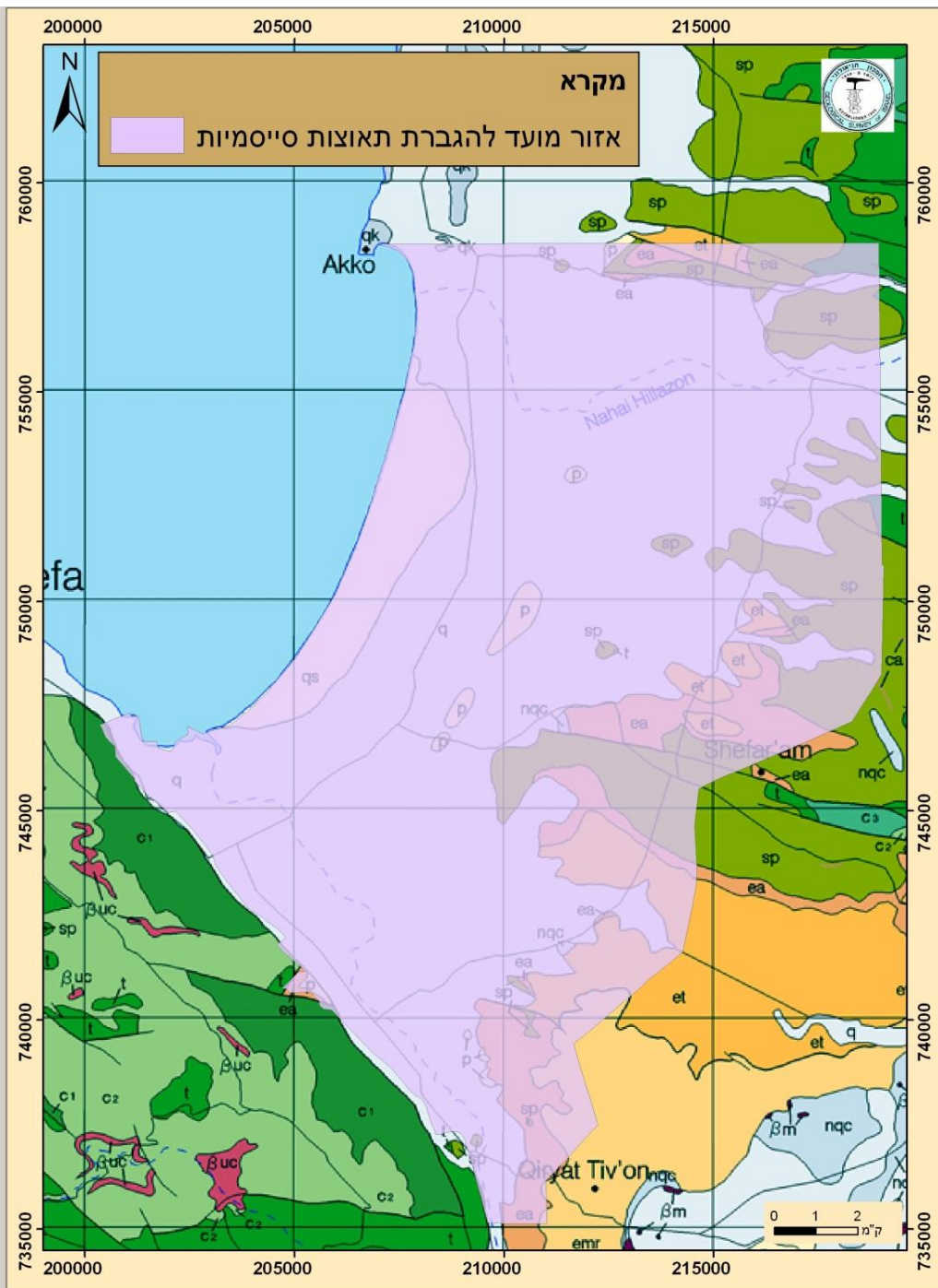


איור 7: נקודות וחתכי מדידה של תגובת אתר בעמק זבולון

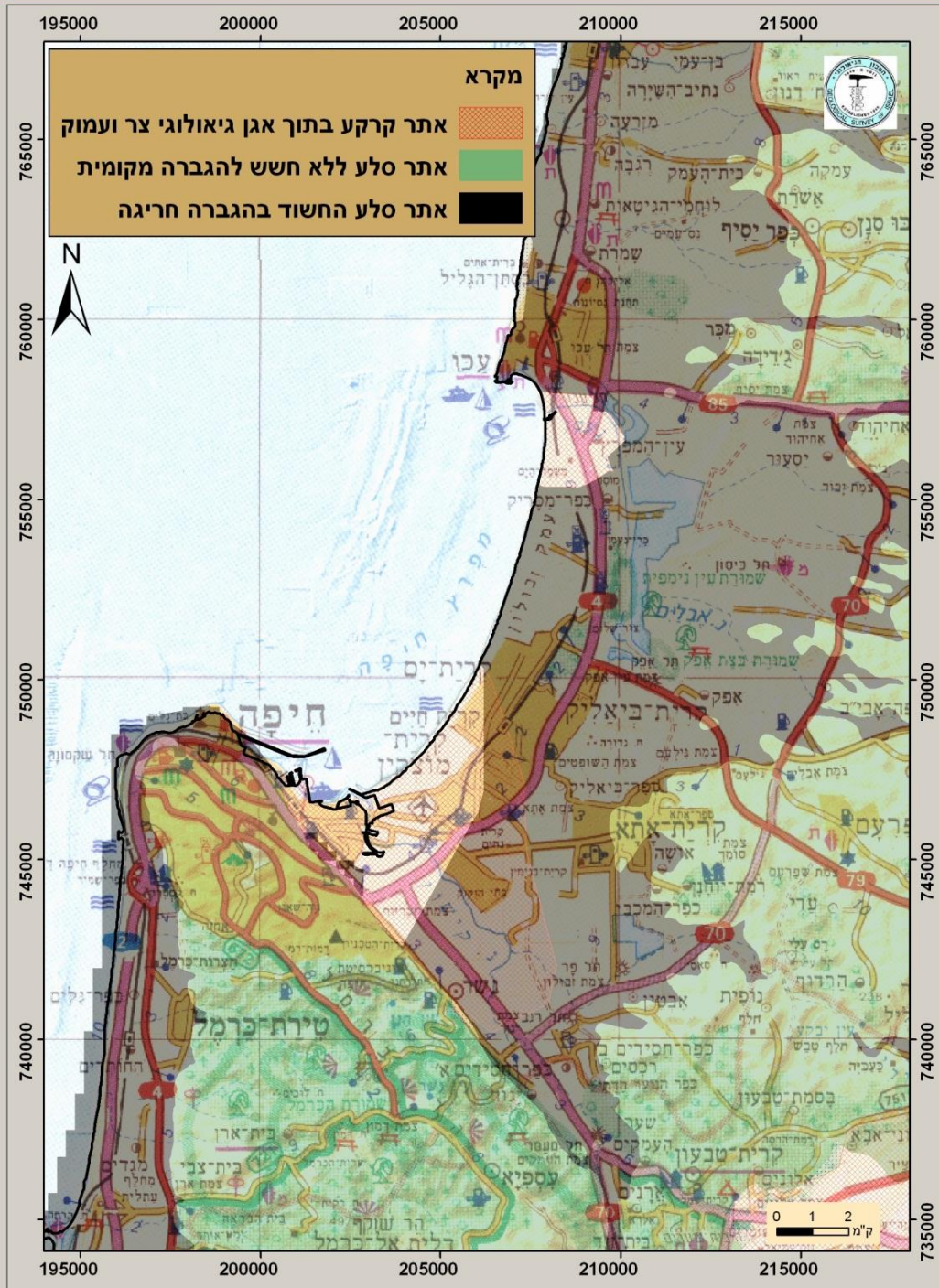


איור 8: מפת האזורים (מיקרוזונציה) של הגברה מרבית (למטה) והתדר בו מתרחשת ההגברה המרבית (למעלה) באזור קריית מוצקין וקריית ביאליק

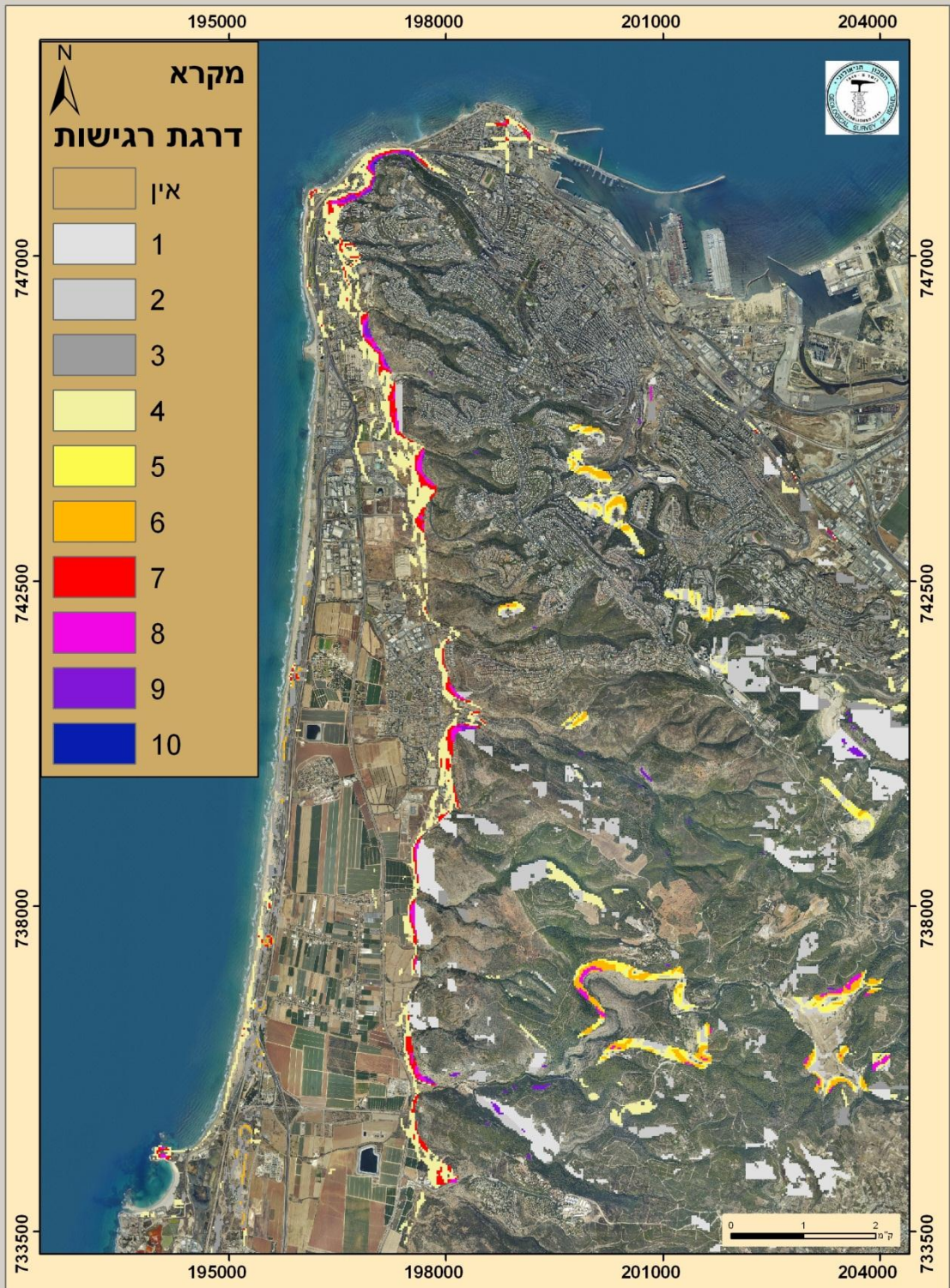
איור 9: מפת האזורים המועדים להגברה על פי סקרי תגובת אתר (מתוך זסלבסקי וחוי')



איור 10: מפת האזורים המועדים להגברה בעמק זבולון על פי הנחיות התקן הישראלי 413 (מתוך גבירצמן וזסלבסקי, 2009)



איור 11 : מפת הרגישות להתפתחות כשל מדרון בעת רעידת אדמה (כץ ואלמוג ...)



האזורים הרגישים להתחללות בעמק זבולון

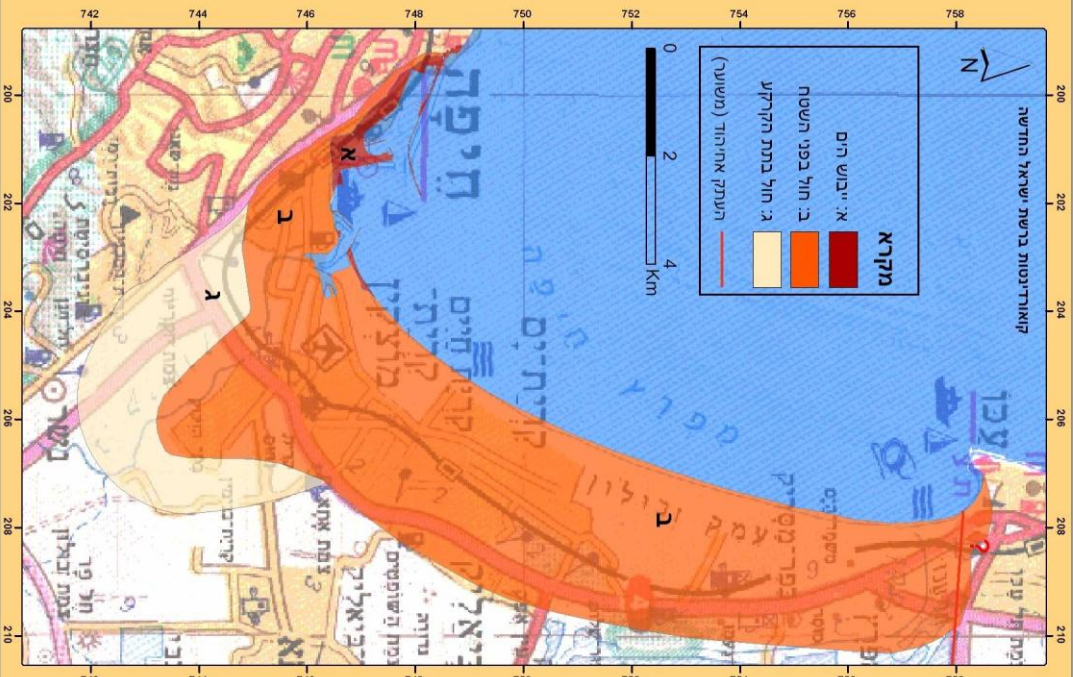
דברי הסבר לזמן

המפה מצגת באופן איכותי ומוזל את האזורים בהם קיים פוטנציאל להתחללות בעת רעידת אדמה חזקה והיה חלק מרח המכון הגיאולוגי GSI/2007 אשר בו מפורטים הרקע ושיטת המבדה שעל פיהם היא נערכה. אזרחי הרגישות הגדור באופן איכותי על בסיס הגיאולוגיה ותופות החול הבתך הדרדו בעמק זבולון לפי שמופ בגבירותים של Ecker and Kafi (1964); Reichle (1970); ניר (1980); גלני (1990); אל et al (1998); משרד התקולות ופחות הכפר (2003); גבאלי (2006). שטיח ים אשר יובש או מלאכותי קובע על סמך השוואה בין מפות טופוגרפיות מוקדמות (Clarke, Mansell et al, 1983). לענשויות (1998). להתקת אחידה (מסומן ל') שם מציג חול בפי השטח ונדרשת בדיקה נוספת. המפה הנוכחית מעדכנת את המפה המסומנת (אור 16) ברח המכון הגיאולוגי GSI/2006.

- אזורי הרגישות:
- א** רגישות א
- ב** רגישות ב
- ג** רגישות ג
- אזורים בהם קיים חול בתת הקרקע
- אזורים בהם ישנם חול באופן מלאכותי בעזרת מילוי של חול.
- אזורים בהם ישנם חול בעמק זבולון רדוד.
- אזורים בהם קיים חול בתת הקרקע.

הערות לזמן

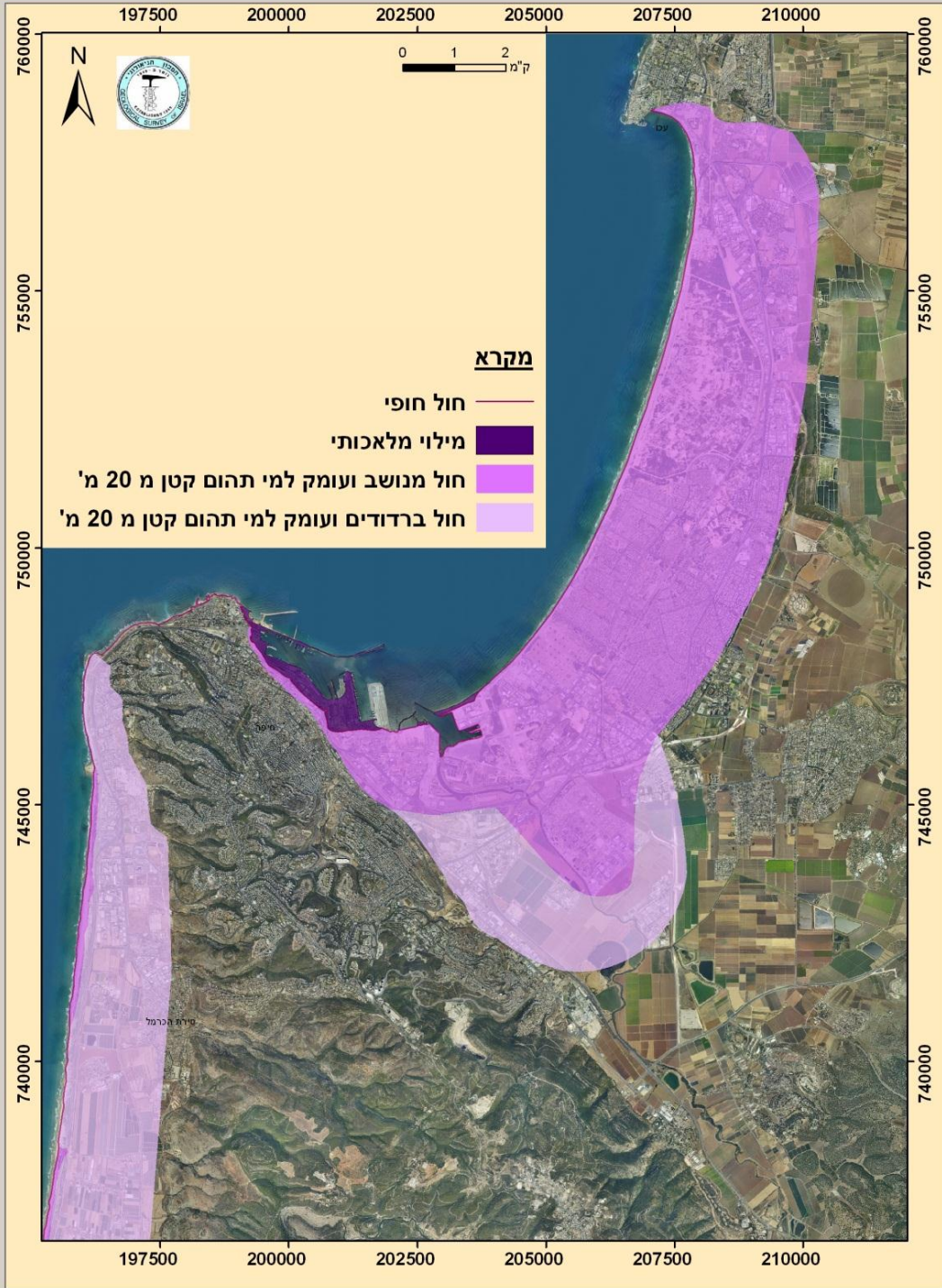
1. באזורי הרגישות מצומם תנאים גיאולוגיים המעידים על פוטנציאל להתחללות בעת רעידת אדמה חזקה.
2. התחללות באחר נתון תלויה בהרכב החשיפת המקומות והתכונות הגיאוסטכניות שלהן. במסלס מי הבהום ובאופי רעידת האדמה. התנאים במפה הנוכחית אינתיים בלבד. על כן היא מועדת לזננון מרחב. שימושי קרקע ופחות מבבתי בלבד.
3. כונתאית מהתחללות עלולות להתרחש מגוון של תופעות כגון התפרצות חול לפני השטח. שקיעות קרקע.
4. התנאים במפה ז' אינם מהווים תוליה, בל אופן שהוא, לסקר אחר גיאוכני או להתערות פרמטרים הברדים לתננון לל עור הבר מדיסי ים אילייר. בדיקות קודמות לולמדי באופן כמותי את הפרמטרים הברדים.
5. סיכוי רעידות אדמה הם תופעה מסומנת. על כן יתכן כי אזורים מסומנים בעלי פוטנציאל סיכוי להתחללות טרם זהו רכוי. במקצבים העוסדים לרשתות כיום, לכן מצגת לעת באם הצטבר מידע סיסמי, גיאולוגי וגיאוכני חדש בנושא.
6. אזרחי הסיכון מופו במדויק ככל האפשר. תולות מודיעת הקיים במפות ובגישות המרעיות הנוכחיות מטבע הדבר. הגדרת הגבולות קווי המגע בין אזרחי הסיכון כדרכה באי וודאות הגבנת מפרוט התנאים במפות וחלקאי. אינטיביים באזור. על כן עלולות להתחללות מסות מקומיות בתנאי הגבול של אזרחי הרגישות. א חודמות במיקום בלוי אזרחי הרגישות במפה הנוכחית מגיעה להערותנו ל-100 מ' משעי איד קו הגבול.
7. קיימת אפשרות שפרמטרים ילזננון הברדים אשר יתקבלו בסקר אחר ספציפי ימצאו מתמרים בהסם לזננון בקתן הישראלי.
8. עורכי המפה אינם אחראים לכלי חק מל סוג שהוא. שעלול ליהרגם כונתאית מהישמוש בה.



איור 12: הערכה גיאוטכנית של פוטנציאל ההתחללות בעמק זבולון

סם פרידמן, עמוס סלמון, דב צביאל, רן ביטון ועודד כץ

מפת סיכון להתנזלות באזור חיפה ועמק זבולון על-גבי תצלום אורתופוטו



מפת סיכון להצפה מצונאמי באזור חיפה והקריות על-גבי תצלום אורתופוטו



מפת סיכון להצפה מצונאמי באזור חיפה והקריות על-גבי מפה גיאולוגית

