



משרד התשתיות הלאומיות
המכון הגיאולוגי

דירוג מידת הסיכון לנסיגה מוגברת לאורך צוק החוף היס-תיכוני: יישום באמצעות כלי מ"ג (GIS)

רן קלבו, שמעון אילני, עזרא זילברמן





משרד התשתיות הלאומיות
המכון הגיאולוגי

דירוג מידת הסיכון לנסיגה מוגברת לאורך צוק החוף היס-תיכוני: יישום באמצעות כלי ממי"ג (GIS)

רן קלבו, שמעון אילני, עזרא זילברמן

מוגש למשרד להגנת הסביבה

דו"ח GSI/23/2006

ירושלים, תשרי תשס"ז, ספטמבר 2006

תקציר

צוקי הכורכר, המלווים את קו החוף הישראלי, נתונים להרס מתמשך על ידי כוחות הבליה המופעלים הן מכיוון הים (סערות החורף ומפץ הגלים) והן כתוצאה מצורת הצוק עצמו (גובה הצוק ושיפועו) המאפשרים גלישות גרביטטביות של מקטעים אנכיים שונים בצוק.

ההבדלים הקיימים, לאורך כלל קו החוף, במורפולוגיה (גובה, שיפוע, מרחק מקו המים), בסטריגרפיה (חשיפה משתנה של חלקי חתך שונים לאורך קו החוף) ובליתולוגיה (מסלע, מידת ליכוד, סידוק וכ"ו) גורמים לקצבי נסיגה וסגנון הרס משתנים לאורך הצוק.

עבודה זו מנסה למדוד, באמצעות כלי מדידה אחיד ממוחשב חצי-אוטומטיים, מספר פרמטרים לאורך קו החוף (גובה הצוק, שיפוע מרבי, מרחק מקו המים) ובאמצעותם לקבוע את רמות הסיכון היחסיות של קטעי צוק שונים. חלוקה כזו תאפשר למתכנן להפנות תשומת לב גדולה יותר לקטעי צוק בעייתיים לעומת קטעי צוק ברמת סיכון נמוכה יותר. החישובים המוצגים כאן התבססו על המודל הטופוגרפי הדיגיטלי של ישראל, ברזולוציה של 25 מטרים, וממנו חושבו הפרמטרים הנדרשים, באמצעות מודול שנכתב במיוחד בסביבת ה-GIS.

מתוך 224 ק"מ של קו החוף, בכ-45 ק"מ מתוכם מצוי צוק בקרבת קו המים (עד למרחק של 250 מטרים). הצוק הארוך ביותר, כ-11 ק"מ אורכו, הנמצא מצפון להרצליה, הנו ברמת הסיכון הגבוהה ביותר, אך מרביתו מצוי רחוק מאזורים מיושבים. קטע הצוק הבעייתי השני מצוי בין נחל פולג לבית-ינאי והוא מכיל כמות קטנה יותר של קטעי צוק ברמת סיכון הגבוהה ביותר. לקטע זה יש להפנות תשומת לב מיוחדת, מאחר שעיקר הצוק בקטע זה מצוי בקרבה לאזור עירוני (נתניה).

תוכן עניינים:

פרק 1 :	רקע	1
פרק 2 :	מטרות	1
פרק 3 :	השיטה	2
3.1	מודל שריגי המתאר את הרום הטופוגרפי של ישראל - DEM (Hall, 1997)	2
3.2	קו חוף הים - קו גובה "אפס"	3
3.3	אזור המחקר	3
3.4	מודל שריגי המתאר את השיפוע הטופוגרפי	3
3.5	בסיס וגג הצוק	3
3.6	מודל שריגי המתאר את ערכי השיפוע הטופוגרפי המרבי לצוק	4
3.7	מודל שריגי המתאר את המרחק בין קו המים לבסיס הצוק	4
3.8	מודל שריגי המתאר את הרום הטופוגרפי של גג הצוק	4
3.9	דיגום מודל השיפוע המרבי, מודל המרחק ומודל הרום הטופוגרפי לאורך החוף	4
3.10	חלוקה לקטגוריות של דרגות סיכון	5
פרק 4 :	דרגות הסיכון להרס הצוק לאורך החוף	6
פרק 5 :	מסקנות ומחשבות להמשך	8
9	מקורות	9

איורים:

איור 1 :	שלבנים בהרצת המודול, הדגמה מאזור מכון וינגייט	10-11
איור 2 :	ערכי גובה הצוק, השיפוע המרבי והמרחק לקו החוף עבור נקודות מידע	
12	לאורך החוף הים-תיכוני	
איור 3 :	יחסי גובה הצוק, שיפוע הצוק ומרחק הצוק מקו החוף עבור נקודות מידע	
13	לאורך החוף הים-תיכוני	
איור 4 :	מפת הסיכונים בקטע "צוק השרון" (נתניה - הרצליה)	14
איור 5 :	מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני	15-29

תמונות:

לוח 1 :	תמונות מהשטח	30
---------	--------------	----

נספחים:

נספח מס' 1 :	דרגות הסיכון היחסיות לאורך צוק החוף הים-תיכוני : ישום בכלי GIS	31-35
--------------	--	-------

פרק 1: רקע

ציר הרכס החופי (רכס דור) מקביל, בדרך כלל, לקו החוף של הים התיכון (אלמגור, 2005). רכס זה, שהיה בעבר סימטרי, מגודד כיום בחלקו המערבי ובמקומות אף עבר הגידוד את שיאו הטופוגרפי כלפי מזרח. גידוד הרכס יצר את "צוק השרון", שהוא תוואי הנוף הבולט ביותר לאורך חוף הים התיכון. גידוד הצוק החופי נגרם בעיקר כתוצאה מהלמות הגלים בבסיסו (כפי שיתואר בהמשך), אך למידת חוזק הסלע, ליכודו וסידוקו השפעה לא מבוטלת על עמידותם המשתנה של קטעי הצוק שונים. אף על פי שהקו הישר הכולל של הצוק נשמר, מתחוללת נסיגת הצוק בקו מפותל ומשונן, כתלות בתנאי המסלע המקומי, ברוחב החוף החולי, בהימצאות או היעדרות של טבלאות גידוד ימיות וסלעי חוף, וכן במשטר הגלים והזרמים בים.

התהליכים המחזוריים המובילים לנסיגת הצוק הוצגו על ידי אלמגור (2002) והם כוללים את השלבים הבאים: חתירת צנור בבסיס הצוק על ידי גלי הים, בדרך כלל במהלך סערה; ניתוק וגלישה של קטעי צוק, בדרך כלל בתחילה בבסיס הצוק ובהמשך בחלקיו הגבוהים יותר, כתוצאה מאי-יציבות גרביטטיבית; התייצבות של סינר דרדרתי המגן על הצוק מפני הגלים; סילוק מתמשך, איטי או מהיר, של הדרדרת וחשיפת בסיס הצוק וממנו התחלה של מחזור נוסף. פרת ואלמגור (1996) קבעו כי אין קשר סיבתי או סטטיסטי בין תכיפות הגלישות לבין גובה הצוק או הסדר הליתולוגי/סטרטיגרפי המקומי שלו.

נתונים כמותיים על קצב הנסיגה כמעט ואינם קיימים. עבודות בודדות שנעשו, לדוגמה, דרך השוואת תצלומי אוויר (צביאלי וקליין, 2002) או במדידות גיאודטיות (גרינשטיין, 1997), היו בדרך כלל מוגבלות בהיקפן ומעולם לא הוצגה חלוקה של כל קו החוף לפי רמת הסיכון היחסית להתפתחות הנסיגה לאורך הצוק.

ניתן להשתמש במגוון של פרמטרים מדודים המאפיינים את קטעי הצוק השונים על מנת לתת הערכה, באמצעות כלי מדידה וחישוב אחידים, לקטעי הצוק השונים. חלוקה כזו לדרגות סיכון יחסיות תוכל להפנות את תשומת הלב לקטעי צוק בעייתיים, על פני קטעים ברמת סיכון פחותה.

פרק 2: מטרות

1. קביעת פרמטרים לדירוג מידת הסיכון לנסיגה מוגברת של קטעי הצוק שונים לאורך חופי הים התיכון.
2. חלוקת קו החוף של ישראל לקטעים לפי מידת הסיכון להרס הצוק הסמוך להם. יצירת המקטעים בעזרת מודולים בכלי ממ"ג (Model Builder בסביבת ArcGIS 9.1) על מנת למזער את העבודה הידנית ועל מנת לאפשר שחזור התהליך תוך כדי בחירת פרמטרים שונים, אזורים אחרים או נתוני בסיס ברזולוציה אחרת.
3. השוואת דרגות הסיכון שהתקבלו במפת התוצר למצב האמיתי, כפי שנצפה בעבודת השטח (זילברמן וחבריו, 2006), ולהערכה הסובייקטיבית שיש לנו לגבי מידת הסיכון להמשך ההרס בקטעי הצוק השונים.

פרק 3: השיטה

דרגות הסיכון היחסיים לקטעי החוף השונים חושבו באמצעות מידול של תהליכים ב-GIS, תוך כדי שימוש במודל הטופוגרפי הדיגיטלי (Digital Elevation Model - DEM) ברזולוציה של 25 מטרים (Hall, 1997) ובניגזרותיו ובהתבסס על הפרמטרים המאפיינים את מידת הסיכון להרס הצוק.

ההנחה הבסיסית שבעבודה זו הייתה שככל שהצוק תלול יותר וגבוה יותר מידת הסיכון הטמונה בו להמשך ההרס עולה, וכן, ככל שהצוק קרוב יותר לקו המים קצב ההרס שלו יגבר כתוצאה מסילוק תוצרי הגלישה הקודמת, מאחר שהם מגינים על הצוק מפני המשך גלישה. לפיכך, צוק שהוא תלול וגבוה הנמצא בסמוך לשפת הים יהיה בעל סיכוי הרס גבוהים יותר ותכופים יותר מצוק שהוא תלול פחות, ו/או נמוך ו/או מצוי במרחק גדול מקו המים.

הפרמטרים שנקבעו בעבודה הנוכחית, כמאפיינים את דרגת הסיכון של קטעי הצוק השונים, הינם: גובה הצוק, שיפוע הצוק, והמרחק בין קו המים לבסיס הצוק. כל שאר הפרמטרים המאפיינים את הצוק (מסלע), את סביבתו המיידית באזור קו המים (טבלאות גידוד וסלע חופי) ואת הים הסמוך לו (זרמים וגלים) לא נלקחו בחשבון בחישוב הנוכחי.

הדרך שבה נקטנו הינה על ידי הענקת ערכי הפרמטרים הללו לנקודות לאורך קו החוף (מרחק בין הנקודות 25 מטרים) בכל אותם קטעי חוף הנמצאים ממול לצוקים. לשם כך היה צורך לשרטט את קו החוף (עליו שורטטו דרגות הסיכון), את קו בסיס הצוק (ממנו חושב המרחק לקו החוף) ואת קו גג הצוק (ממנו חושב גובה גג הצוק). שיפוע הצוק נלקח מתוך מודל השיפועים.

כאמור, אחת ממטרות העבודה הייתה לבצע את מרבית החישוב באופן אוטומטי באמצעות כלי GIS על מנת לאפשר שחזור החישובים תוך כדי בחירת פרמטרים אחרים ו/או אזורים אחרים, ולשם כך נכתב מודול ברכיב ה-Model Builder בסביבת ArcGIS. המידע היחידי שהוזן למודול היה ה-DEM של ישראל וממנו חושבו כל שאר הרבדים והפרמטרים שהובילו ליצירת מפת הסיכונים הסופית. בנספח מס' 1 מתוארים שלבי החישוב והפעולות המתבצעות בכל שלבי המודול. איור 1 מציג הדגמת מהלך החישוב עבור אזור מצומצם בסביבת מכון וינגייט.

3.1 מודל שריגי המתאר את הרום הטופוגרפי של ישראל - DEM (Hall, 1997)

המודל הטופוגרפי הדיגיטלי של ישראל מבוסס על המפות הטופוגרפיות, בקנה"מ 1:50,000, של המרכז למיפוי ישראל, והוא יוצר על ידי דר' ג'ון הול מהמכון הגיאולוגי בשיתוף עם המרכז למיפוי ישראל וחברת Historical Production Ltd. (Hall, 1997). במפות הטופוגרפיות המקוריות המרווח בין קווי הגובה הינו 10 מטרים ומהם חושב הרום הטופוגרפי של כל נקודה אחרת במרחב באמצעות אינטרפולציה מסוג Cubic Spline. המודל הדיגיטלי בנוי משריג של תאי מידע (פיקסלים) המכסים כל אחד שטח של 25X25 מטרים רבועים. כל תא בשריג מציג את הרום הטופוגרפי הממוצע של שטח התא. המודל הדיגיטלי מכסה את כל שטח מדינת ישראל (1600 תאי מידע לכל קמ"ר, סה"כ קרוב ל-50 מליון פיקסלים). Hall et al. (1999) בדקו את הדיוק האנכי של המודל אל מול נקודות גובה של מאגרי מידע גדולים (מיקום קידוחים, מדידות

גיאופיזיות) ומצאו כי עבור 80% מהנקודות הטעות בגובה הנה בתחום של עד 5 מטרים ועבור 90% מהנקודות הטעות בגובה הנה בתחום של ± 10 מטרים. כאמור, זהו הרובד היחיד שהוזן למודול וממנו חושבו שאר הרבדים והפרמטרים כפי שיפורט בהמשך.

3.2 קו חוף הים - קו גובה "אפס"

נתוני מודל הרום הטופוגרפי הדיגיטאלי (DEM) שימשו לחישוב הקווים שווי הגובה (קונטורים), ומהם נבחר קו הגובה "אפס" כמייצג את קו חוף הים (איור 1a).

ממצאי ביניים: אורך קו החוף (קו גובה אפס, ולפי המודל הטופוגרפי הדיגיטאלי), החל מגבול רצועת עזה בדרום ועד ראש-הנקרה בצפון, הינו כ-224 ק"מ.

3.3 אזור המחקר

אזור המחקר הוגדר על ידי מסגרת שגבולותיה הם: מזרח - 250 מטרים ממזרח לקו החוף; מערב - קו החוף; דרום - גבול רצועת עזה; צפון - גבול לבנון. צוקים הנמצאים מחוץ למסגרת זו, במידה וקיימים, אינם נכללים בעבודה הנוכחית ולכן לא יוצגו בחישובים שבהמשך.

ממצאי ביניים: שטח אזור המחקר כ-50 קמ"ר.

3.4 מודל שריגי המתאר את השיפוע הטופוגרפי

על בסיס מודל הרום הטופוגרפי (DEM) חושב מודל השיפוע הטופוגרפי (איור 1b). כל תא בשריג החדש מציג את השיפוע הממוצע (ביחידות של מעלות) בין מרכז התא ומרכזי התאים הצמודים לו (8 תאים). מאחר שהחישוב מתבצע על המודל הטופוגרפי במרווח של 25 מטרים בין התאים, צפויים להתקבל ערכי שיפוע נמוכים מהמציאות. לדוגמא, צוק בגובה של 25 מטרים, גם אם יהיה בשיפוע העולה על 45 מעלות, כלומר מרחק אופקי בין גגו לבסיסו קטן מ-25 מטרים, הפרש הגובה יתפזר במודל הטופוגרפי על פני שני תאים שכנים, שהמרחק ביניהם הוא 25 מטרים בדיוק, ולכן השיפוע המחושב שבין שני התאים יהיה רק 45 מעלות.

ממצאי ביניים: בשטח אזור המחקר טווח השיפוע הטופוגרפי הוא בין 0 ל-43 מעלות.

3.5 בסיס וגג הצוק

קווים שווי שיפוע חושבו על בסיס מודל השיפוע, בהפרש של מעלה אחת. רוב הצוקים, הנראים בעין ב-DEM, תחומים על ידי קו הקונטור של 9 מעלות בבסיסים (המעבר מאזור החוף לתחילת הצוק) ובגגם (המעבר מהצוק לחלקו השטוח של הרכס). איור 1c מציג חתך חוצה בניצב לקו רכס ואת ערכי הגובה והשיפוע לאורך החתך. התאמה טובה נמצאה, בסדרה של חתכים דומים לאורך חופי הארץ, בין נקודות תחילה וסיום המתלול ובין קונטור של 9 מעלות. קונטור זה נבחר מתוך כל הקונטורים והוא חולק לשני מקטעים: המזרחי מייצג את גג הצוק ומערבי מייצג את בסיס הצוק (איור 1d).

ממצאי ביניים : סה"כ נמצאו 116 קטעי צוק לאורך החוף באורך כולל של כ-45 ק"מ. הצוק הרציף הארוך ביותר (יותר מ-11 ק"מ) נמצא בין הרצליה למכון וינגייט.

3.6 מודל שריגי המתאר את ערכי השיפוע הטופוגרפי המרבי לצוק

מודל השיפוע הטופוגרפי (איור 1b) שימש לחישוב השיפוע המרבי של הצוק בכל נקודה לאורך החוף. כל תאי השריג הנמצאים בהשקה לקו החוף נדגמו ובאמצעות סטטיסטיקה המבוססת על תאים שכנים (Neighborhood Statistics) חושב עבורם ערך שיפוע חדש שהוגדר כערך הגבוה ביותר מבין כל התאים הנמצאים ממזרח להם (עד למרחק של 50 תאים) (איור 1e), כך שערך השיפוע המרבי הועתק מערבה עד לקו החוף.

3.7 מודל שריגי המתאר את המרחק בין קו המים לבסיס הצוק

על בסיס קו החוף נבנה מודל שריגי המציג את המרחק של כל אחד מתאי המודל אל קו החוף הקרוב ביותר אליו. מתוך המודל החדש נדגמו רק התאים שיש להם נקודת השקה עם קו בסיס הצוק. באמצעות סטטיסטיקה המבוססת על תאים שכנים (Neighborhood Statistics) בוצעה הרחבה של ערכים אלו כלפי מערב, עד למרחק של 50 תאים (איור 1f), כך שערך המרחק הועתק מערבה עד לקו החוף.

3.8 מודל שריגי המתאר את הרום הטופוגרפי של גג הצוק

מתוך המודל הטופוגרפי הדיגיטאלי (DEM) נדגמו כל התאים שיש להם השקה לקו גג הצוק. באמצעות סטטיסטיקה המבוססת על תאים שכנים (Neighborhood Statistics) בוצעה הרחבה של ערכים אלו כלפי מערב, עד למרחק של 50 תאים (איור 1g), כך שערך הגובה הטופוגרפי הועתק מערבה עד לקו החוף.

3.9 דיגום מודל השיפוע המרבי, מודל המרחק ומודל הרום הטופוגרפי לאורך החוף

על מנת לאפשר את ביצוע החישובים שיתוארו להלן נדגמו לאורך קו החוף מספר רב של נקודות. הנקודות נדגמו במרחק של 25 מטרים בין נקודה לנקודה (סה"כ 8960 נקודות). הנקודות נמצאות על קו החוף, אך רק ל-1772 מתוכם נמצא ערך בתאי שלושת השריגים שנבנו (רום גג הצוק, שיפוע מרבי ומרחק מבסיס הצוק). הערכים מתאי השריג השונים הועברו כפרמטרים לקובץ הנקודות.

טווח הערכים שנדגם בנקודות: מרחק בין קו המים לבסיס הצוק: 0-101 מטרים; שיפוע הצוק: 6-35 מעלות; גובה הצוק: 0-51 מטרים מעל פני הים.

איור 2 מציג את השתנות הערכים המדודים לאורך החוף מדרום לצפון. בחינה של היחסים שבין הערכים שנמדדו עבור שלושת הפרמטרים (איור 3) מציגה התאמה סבירה בין גובה הצוק לשיפוע הצוק (מקדם התאמה R^2 של 0.73) וחוסר בהתאמה בין המרחק שבין קו החוף לבסיס הצוק ובין שני הפרמטרים האחרים (גובה הצוק ושיפוע הצוק), אולם, ישנה דעיכה בגובה הצוק ובשיפוע הצוק עם העלייה במרחק מקו המים. כלומר, הצוקים הגבוהים, הם בדרך כלל גם התלולים ביותר, והם מרוכזים בעיקר באזורים הקרובים לקו המים.

3.10 חלוקה לקטגוריות של דרגות סיכון

קביעת דרגת הסיכון של קטעי החוף השונים התבססה על הערכים שנדגמו בשלושת המודלים בנקודות לאורך החוף. מאחר שנמצאה התאמה בין שיפוע הצוק לגובה הצוק, השתמשנו בקו ההתאמה ביניהם (הקו האדום באיור 3a) לחלוקת אוסף הנקודות לשלוש רמות של גובה-שיפוע. טווח הערכים של הפרמטר השלישי (מרחק בין קו המים לבסיס הצוק) חולק לשתי רמות כפי שמוצג באיור 3b. דרגות הסיכון קודדו על פי הקודים הבאים:

רחוק מקו המים	קרוב לקו המים	
A2	A1	צוק גבוה ותלול
B2	B1	צוק ממוצע
C2	C1	צוק נמוך ומתון
D		ללא צוק בקרבתו

בחלוקה זו מייצגת דרגה A רמת סיכון גבוהה יותר מדרגה B, שהיא דרגת הסיכון הבינונית, וכל אחד מהם מסוכן יותר מדרגה C. לא ברור לנו היחס שבין B2 ו-C1, כלומר, האם צוק ממוצע רחוק מקו המים (B2) מסוכן יותר או מסוכן פחות מצוק נמוך ומתון הנמצא צמוד לקו המים (C1)? כנ"ל לגבי היחס שבין A2 (צוק גבוה ותלול רחוק מקו המים) ו-B1 (צוק ממוצע קרוב לקו המים). באיורים שבהמשך נתייחס לדרגות הסיכונים לפי הסדר הבא: $A1 > A2 > B1 > B2 > C1 > C2$, כשהסימן $>$ ("גדול מ-") במשמעות של "מסוכן יותר מ-".

נעשה ניסיון לחלק את אוסף הנקודות כך שכל חלוקה (חלוקה אחת עבור פרמטר המרחק, ושתי חלוקות עבור הפרמטר המשולב: גובה-שיפוע) תפצל את הנקודות לקבוצות דומות בגודלן. הקווים הכחולים באיור 3a מסמנים את החלוקה לשלוש הקבוצות (קווים אלו הינם ניצבים לקו האדום, למרות שבגרף הם אינם נראים כך כתוצאה מההבדלים בסקלה של הצירים השונים), והקו האנכי באיור 3b מסמן את החציון (ללא כל הנקודות הנמצאות במרחק של אפס מטרים מקו המים, שהם כ-50% מהנקודות). בטבלה הבאה מוצגים היחסים הכמותיים של כל אחת מהקבוצות ב-1772 הנקודות שלאורך החוף:

סה"כ לקבוצה לפי הפרמטר "גובה-שיפוע"	רחוק מקו המים	קרוב לקו המים	
590 נקודות (33.3%)	A2, 41 נקודות (2.3%)	A1, 549 נקודות (31.0%)	צוק גבוה ותלול
587 נקודות (33.1%)	B2, 240 נקודות (13.5%)	B1, 347 נקודות (19.6%)	צוק ממוצע
595 נקודות (33.6%)	C2, 144 נקודות (8.1%)	C1, 451 נקודות (25.5%)	צוק נמוך ומתון
	425 נקודות (24%)	1347 נקודות (76%)	סה"כ לקבוצה לפי הפרמטר "מרחק מקו המים"

למרות שהחלוקה לפי מרחק מקו המים אינה שווה (76% מהנקודות קרובות לקו המים ו-24% רחוקות מקו המים, יחס של 1:3), בקבוצה A כמות הנקודות הקרובה לקו המים (A1) גדולה משמעותית (פי 13) מאלו הנמצאות רחוק מקו המים (A2), הרבה מעבר ליחס הצפוי.

קו החוף (קו גובה "אפס") חולק לקטעים לפי הנקודות שלאורכו (סה"כ 17919 קטעים). לכל קטע הועברו הערכים שנדגמו בנקודות (גובה צוק, שיפוע צוק ומרחק מבסיס צוק) וכן דרגות הסיכון (A1 עד C2). לקטעי החוף שאין להם צוק ממזרח הוענקה הדרגה D.

באיור 4 ניתנת הדגמה לדרגות הסיכון בקטע החוף של "צוק השרון" (מבית-ינאי בצפון ועד מדרום לעיר הרצליה). בקטע שבין הרצליה לנחל פולג רוב הצוקים בדרגות סיכון גבוהות (A) ומיעוטם בדרגת סיכון בינונית וכמעט ללא הדרגה הנמוכה, בעוד שבקטע שבין נחל פולג לבית-ינאי מחצית מאורך הצוק בדרגת הסיכון הגבוהה (A) ומחצית בדרגה הבינונית (B), עם מספר קטעים בדרגה הנמוכה (C). רוב הקטע העירוני בנתניה מצוי אל מול צוקים בדרגות סיכון גבוהות או בינוניות, בעוד שרוב הקטעים המסוכנים במרחב הרצליה-פולג נמצאים רחוק מאזורים עירוניים. על פי תוצאות החישוב המוצג כאן דרגת הסיכון לקטע הצוק באזור בית-ינאי, המוכר היטב בשיח הציבורי והנמצא בדרך כלל בכותרות, הנה בינונית בלבד (B1).

המפה המסכמת של דרגות הסיכון לכלל קו החוף היס-תיכוני מוצגת באיור 5, בקני"מ 1:25,000, בסדרת מפות מצפון לדרום.

ממצאי ביניים: 13.7 ק"מ ברמת סיכון A1; 1 ק"מ ברמת סיכון A2 (סה"כ 14.7 ק"מ בדרגת הסיכון הגבוהה ביותר); 8.7 ק"מ ברמת סיכון B1; 6 ק"מ ברמת סיכון B2 (סה"כ 14.7 ק"מ בדרגת הסיכון הבינונית); 11.3 ק"מ ברמת סיכון C1; 3.6 ק"מ ברמת סיכון C2 (סה"כ 14.9 ק"מ ברמת הסיכון הנמוכה). שאר קו החוף (179.7 ק"מ) ללא סיכון כלל עקב היותו חוף ללא צוק סמוך.

פרק 4: דרגות הסיכון להרס הצוק לאורך החוף

להלן יתוארו קטעי הצוק לאורך החוף היס-תיכוני, תוצג רמת הסיכון שבהם (כפי שהם מופיעים באיור 5), ותעשה השוואה עם תצפיות מעבודת השדה.

א. ראש הנקרה - ראש הכרמל:

תוצאות החישוב: מספר קטעי צוק בדרגת סיכון נמוכה ושני קטעים קצרים ברמת סיכון בינונית במערב העיר עכו.

תצפיות שדה: באזור זה מרבית הצוקים עשויים סלעי כורכר מלוכדים היטב (תמונה 1) ולכן להערכתנו קיים סיכוי קלוש (= רמת סיכון נמוכה) של נסיגת הצוק עקב גלישות וגידוד ימי.

ב. ראש הכרמל - נחל אלכסנדר :

תוצאות החישוב : מתוך מספר קטעי הצוק המבודדים, מרביתם ברמת סיכון נמוכה, מספר קטעים ברמת סיכון בינונית (כפר גלים, תל קרעה, תל סחר, מצודת עתלית, עתיקות קיסריה, קריית השכלה בחוף גבעת אולגה ותל גדור) ושני קטעים ברמת סיכון גבוהה (תל קרעה ותל גדור). תצפיות שדה : גם לאורך קטע חוף זה הצוקים עשויים סלעי כורכר מסיבי המלוכד היטב ולכן בעל סיכויי גלישה והרס נמוכים. מדרום לקיסריה הצוקים מציגים חילופי מסלע (כורכר וחמרה). במקומות, בצמוד לקו המים, מופיעות גבעות מורמות כדוגמת תל קרעה, קריית ההשכלה בחוף אולגה ותל גדור (תמונה 2), שם התפתחו צוקים גבוהים ותלולים הנמצאים בדרגת סיכון גבוהה יותר.

ג. נחל אלכסנדר - נחל פולג :

תוצאות החישוב : 78% מאורך החוף בקטע זה הנו מצוקי (כ-11.9 ק"מ של צוק מתוך כ-15.2 ק"מ של קו חוף). למרות שקטע זה מהווה רק 7% מאורך החוף הכולל (מראש הנקרה ועד גבול עזה), נמצאים בו כ-27% מכלל הצוקים של החוף הים תיכוני. לאורך קטע זה יש 5.9 ק"מ של צוקים בדרגות הסיכון הגבוהות (A1 ו-A2), 5.5 ק"מ בדרגות הסיכון הבינוניות (B1 ו-B2), ו-0.5 ק"מ בדרגות הסיכון הנמוכות (C1 ו-C2). כ-40% מהצוקים, לאורך כלל החוף, שבדרגת הסיכון הגבוהה (A1) מצויים בקטע זה. הקטעים המסוכנים ביותר הנם : בצפון נתניה - אזור שושנת העמקים וחוף מלון ארבע העונות (איור 4, איור 5 ותמונה 3), ובדרום נתניה שני קטעים רצופים ארוכים. לפי החישוב המוצג כאן הצוקים שלאורך חוף בית-ינאי (תמונה 4) הנם בדרגת סיכון בינונית בלבד (איור 4 ואיור 5).

תצפיות שדה : לאורך רוב הקטע יש התאמה טובה בין תוצאות החישובים והחלוקה לדרגות סיכון, כפי שמופיע באיור 4 ובאיור 5, ובין התצפיות שנערכו בשדה (תמונות 3, 4). לאורך מספר קטעים מצפון לנתניה, שם התקבלה דרגת סיכון בינונית, נצפו גלישות רבות, כלומר גם בדרגת הסיכון הבינונית B1 קיימים קטעי צוק בסכנת התמוטטות. קטע הצוק באזור בית-ינאי נמוך יותר (כ-24 מטרים מעל הים) ופחות תלול מקטעי הצוק שלאורך העיר נתניה (גובה כ-40 מטרים מעל הים), ולכן התקבל עבורו בחישובים דרגת סיכון בינונית בלבד.

ד. נחל פולג ועד לנחל הירקון :

תוצאות החישוב : קרוב ל-21 ק"מ של חוף, מתוכם כ-14.8 ק"מ של צוק (70% מאורך החוף). למרות שקטע זה מהווה רק 9% מאורך החוף הכולל, מצויים בו 33% מהצוקים שלאורך החוף. לאורך החוף יש 8.5 ק"מ של צוק בדרגות הסיכון הגבוהות (A1 ו-A2), 5.0 ק"מ בדרגות הסיכון הבינוניות (B1 ו-B2), ו-1.3 ק"מ בדרגות הסיכון הנמוכות (C1 ו-C2). למעלה מ-57% מהצוקים, לאורך כלל החוף, שבדרגת הסיכון הגבוהה מצויים בקטע זה, ו-34% מהצוקים בדרגות הבינוניות. החוף שמדרום לאפולוניה (תל ארסץ ; תמונה 5), מורכב בעיקרו מצוקים בדרגת סיכון בינונית ונמוכה, בעוד שמצפון לאפולוניה (תמונה 6) כ-79% מקו החוף מצוי צוק ברמת סיכון גבוהה וב-16% מצוי צוק ברמת סיכון בינונית. בקטע זה רוב הצוקים ברמות הסיכון הבינוניות והגבוהות אינן מצויות קרוב לאזורים עירוניים. מצפון לחוף תל-ברוך מצויים שלושה קטעי צוק ברמת סיכון גבוהה.

תצפיות שדה: יש התאמה טובה בין תוצאות החישובים והחלוקה לדרגות סיכון בקטע חוף זה, כפי שמופיע באיור 4 ובאיור 5, ובין התצפיות שנערכו בשדה (תמונות 5, 6), אך גם כאן קטעי צוק בדרגת סיכון בינונית (B1) מראים סימני גלישה מרובים ועדות להרס מתמשך.

ה. נחל הירקון ועד לנחל שורק:

תוצאות החישוב: ביפו, לאורך החופים הצפוניים של בת-ים ובתל יונה מספר קטעי צוק בדרגות הסיכון הבינוניות והנמוכות.

תצפיות שדה: לאורך חופי יפו - בת-ים אכן מצוי צוק, אך הוא בדרך כלל מרוחק מקו המים, ברום טופוגרפי שאינו עולה על 20 מטרים ובתלילות מתונה יחסית, ולכן הסיכון הנמוך אכן מתאים. הצוק באזור בית הקברות המוסלמי של יפו נתון להרס מוגבר.

ו. בין נחל שורק לנחל לכיש:

תוצאות החישוב: מספר קטעי צוק באזור חוף פלמחים (תמונה 7) בעיקר בדרגת סיכון נמוכה, עם קטעים קצרים בדרגת הסיכון הבינונית.

תצפיות שדה: לאורך כל קטע זה אכן לא נצפו צוקים הנמצאים בסכנה ו/או המציגים היסטורית הרס מוגברת, למעט קטעי הצוק שמצפון לחוף פלמחים. חשוב לציין כי החישוב המוצג כאן לא "הצליח" למצוא את הצוקים המקיפים את תל יבנה-ים.

ז. בין נחל לכיש לאשקלון:

תוצאות החישוב: מספר קטעי צוק קצרים עם דרגות סיכון נמוכה ובינונית. **תצפיות שדה:** לאורך קטע זה לא נצפו בעבודת השדה צוקים הנמצאים בתהליכי הרס מואצים.

ח. בין אשקלון עד גבול רצועת עזה:

תוצאות החישוב: בעיקר קטעים ברמת סיכון נמוכה ובינונית וקטע אחד עם דרגת סיכון בינונית באזור הגן הלאומי תל אשקלון.

תצפיות שדה: לאורך כל התל באשקלון נצפו תהליכי הרס מוגברים ומתרחש שם הרס של חומת האתר הארכיאולוגי (תמונה 8). מדרום לאשקלון נצפו קטעי צוק נמוכים הנמצאים בתהליכי הרס מוגברים, כנראה בגלל המחסום הנוצר בתחנת הכוח רוטנברג ומכלול קצא"א.

לסיכום, 97% מקטעי הצוק שברמת הסיכון הגבוהה ביותר מצויים בקטע שבין נחל הירקון לנחל אלכסנדר. בקטע זה מצויים כ-60% מאורך הצוק החופי של ישראל, וכ-40% מהצוקים שם הם ברמת הסיכון הגבוהה.

פרק 5: מסקנות ומחשבות להמשך

הקריטריונים שנקבעו לדירוג רמות הסיכון (מרחק בין חוף לבסיס הצוק, גובה הצוק, ותלילות הצוק) הינם סבירים כמאפיינים את סיכוי ההישרדות של קטעי הצוק השונים, אך הם אינם לוקחים בחשבון את דרגת הקושי המשתנה של הצוק כפונקציה של החתך הסטרטיגרפי החשוף ושל השינויים הקיימים במרחב

(בעיקר מצפון לדרום). בעבודת השדה אכן נצפו הבדלים, בסגנון ועוצמת ההרס המתרחש, בין צוקים שזכו לדרגות סיכון דומות בחישוב המוצג כאן, כתוצאה מהבדלים בדרגות הליכוד של הסלעים ובחתיך הסטרטיגרפי החשוף.

האנליזה המוצגת כאן, המבוססת על המודל הטופוגרפי הדיגיטלי ברזולוציה של 25 מטרים (Hall, 1997) בלבד, הובילה להפקת מפת סיכון להרס קו הצוק. המפה המוצגת כאן הינה ראשונה מסוגה, וניתן להיעזר בה לקביעת מדיניות לגבי קדימות הטיפול בקטעי הצוק השונים. מפות דומות שיוכנו בעתיד, במידה ויתבססו על שיקולים אחרים ו/או נוספים ו/או מקורות מידע מפורטים יותר, יהיו בודאי טובות ומדויקות יותר מזו המוצגת כאן, אך התמונה הכללית כנראה לא תהיה שונה מזו שהתקבלה בעבודה הנוכחית.

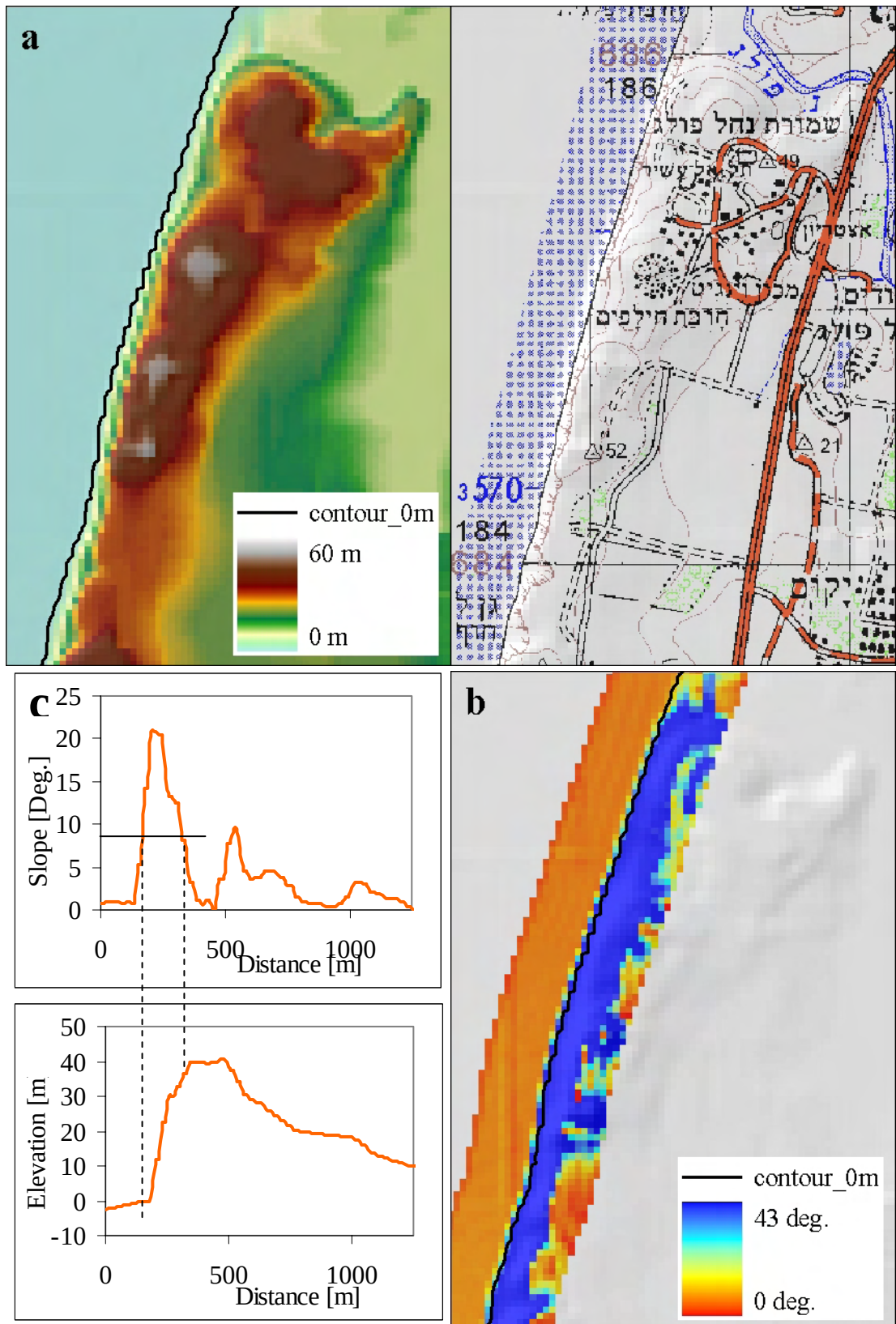
איכות התוצאה, המוצגת במפה שבאיור 5 והמשמעות הנובעת ממנה צריכים להישקל לאחר שלוקחים בחשבון את מקור המידע לחישוב ואת איכותו. המודל הטופוגרפי הדיגיטלי ברזולוציה של 25 מטרים אינו מאפשר דיוק במיקום בסיס וגג הצוק, ברום הטופוגרפי המירבי ובהגדרת השיפוע, מאחר שברוב הרכס רוחב הצוק אינו עולה על שני תאי שריג (פיקסלים) של המודל. רצוי לחשב מפת סיכונים על בסיס מודל טופוגרפי ברזולוציה טובה יותר. במרכז למיפוי ישראל (מפ"י) קיים מודל טופוגרפי דיגיטלי (DEM) ברזולוציה של כל 4 מטרים. המסגרת שהוצגה כאן יכולה לשמש, יחד עם המודל שנכתב ב-Model Builder, להרצה חוזרת של החישוב, בהתבסס על ה-DEM המפורט (4 מטרים).

השוואת דרגות הסיכון שהתקבלו במפת התוצר והשוואתה להרס הקיים והמתרחש לאורך החוף, כפי שנצפתה בעבודת השטח, מראה התאמה טובה.

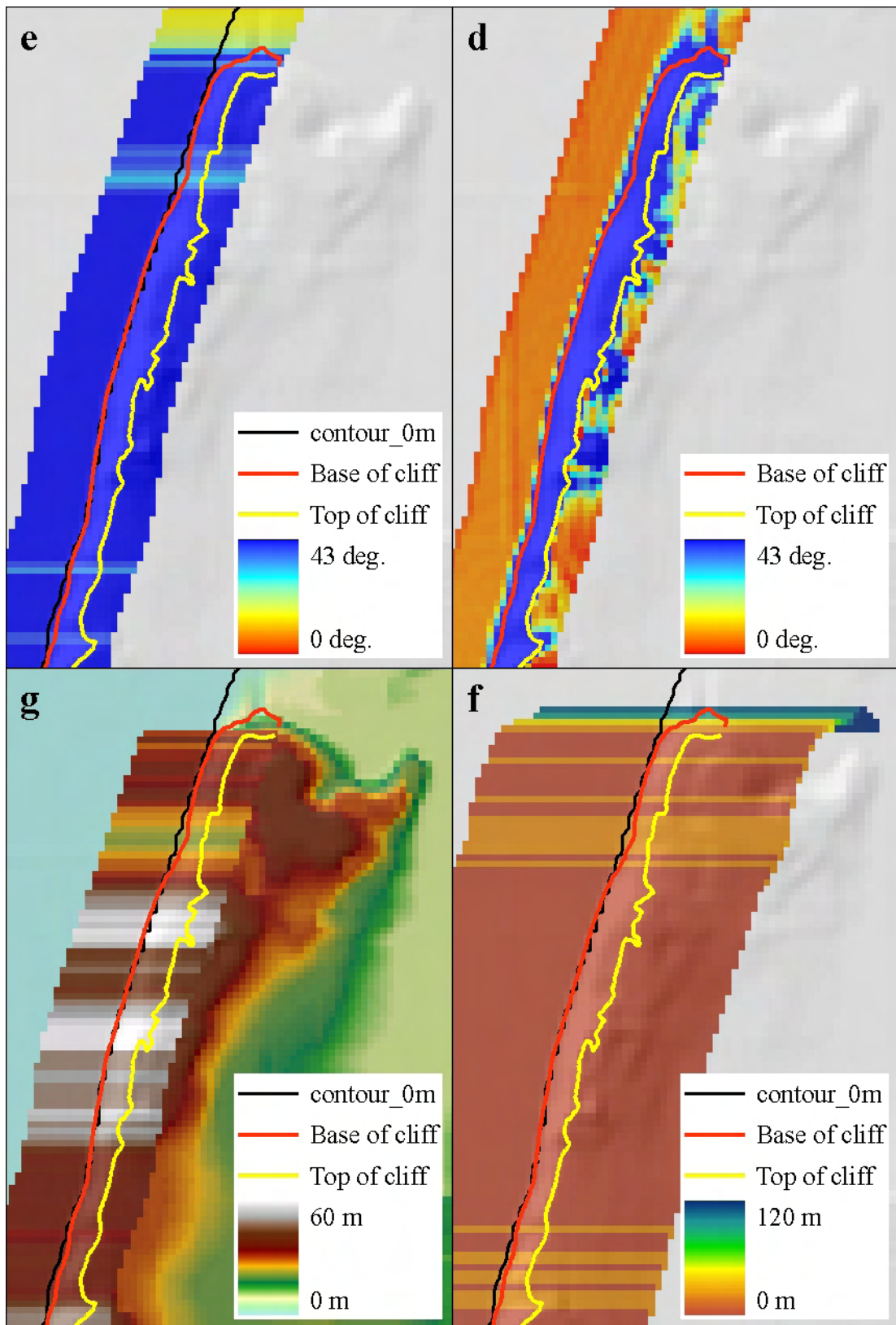
מקורות

אלמגור, ג., 2002, חוף הים התיכון של ישראל. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/13/02. 273 עמ'.
 גרינשטיין, א., 1997, מדידות צוק גבעת עלייה, יפו. ארמי גרינשטיין - הנדסה גיאודטית בע"מ. רמת גן.
 דו"ח שהוגש ל"אתרים בחוף תל אביב", חברה לפיתוח אתרי תיירות בתל אביב - יפו בע"מ.
 זילברמן, ע., אילני, ש., נצר-כהן, ח., קלבו, ר., 2006, מיפוי גיאומורפולוגי-ליתולוגי של רצועת החוף של ישראל. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/22/06, 15 עמ'.
 פרת, א., אלמגור, ג., 1996, סיכונים לאורך מצוק השרון. המכון הגיאולוגי, דו"ח GSI/5/96, 80 עמ'.
 צביאלי, ד. קליין, מ., 2002, קצב נסיגת צוק החוף באזור בית-ינאי בשנים 1918-2000. אופקים בגיאוגרפיה, 55 : 97-107.

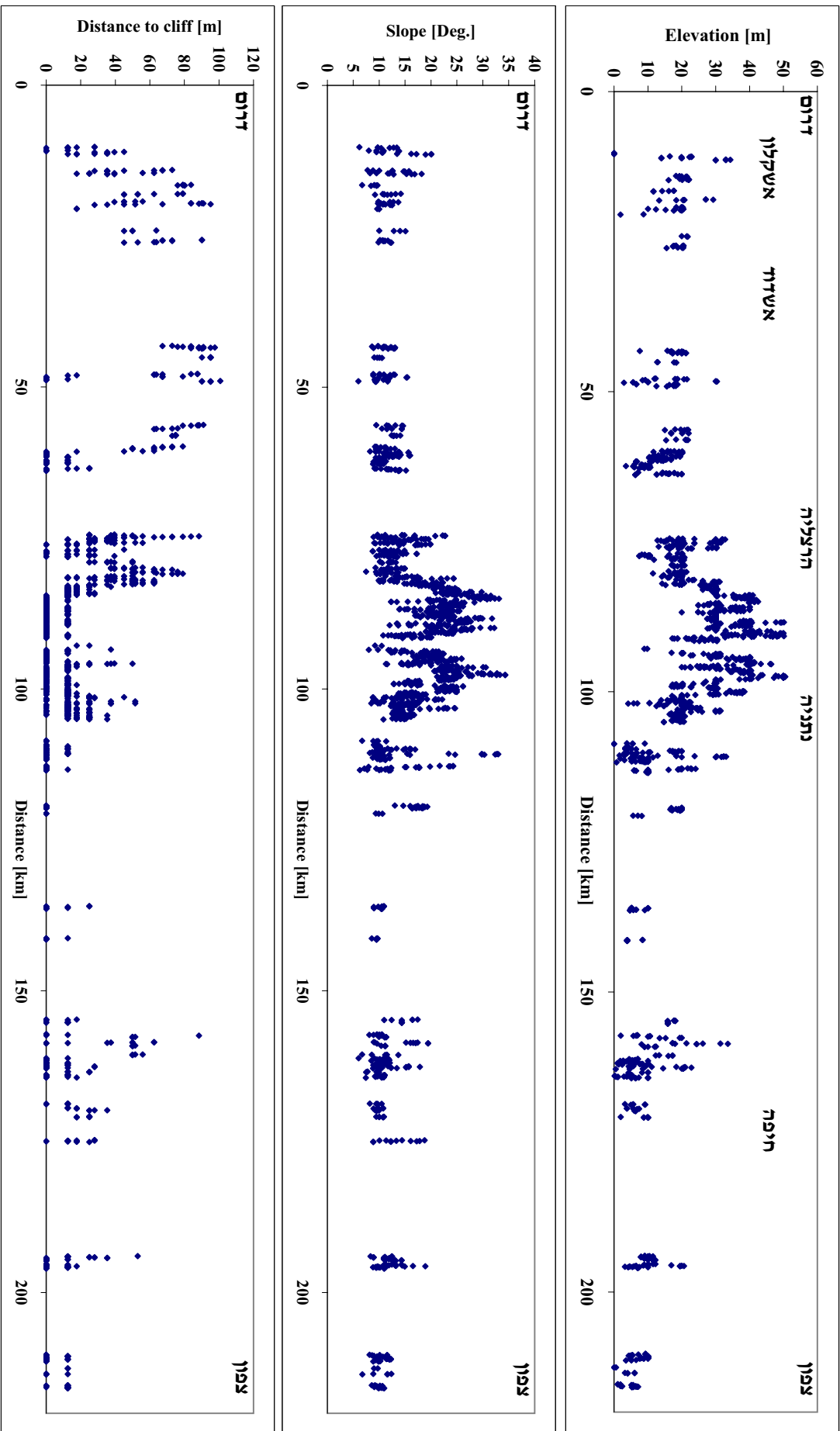
Hall, J. K., 1997, Landforms of Israel and adjacent areas, 1:500,000 scale. Geological Survey of Israel.
 Hall, J. K., Weinberger, R., Marco, S., and Steinitz, G., 1999, Test of the accuracy of the DEM of Israel. Geological Survey of Israel, Report TR-GSI/1/99, 16 p.



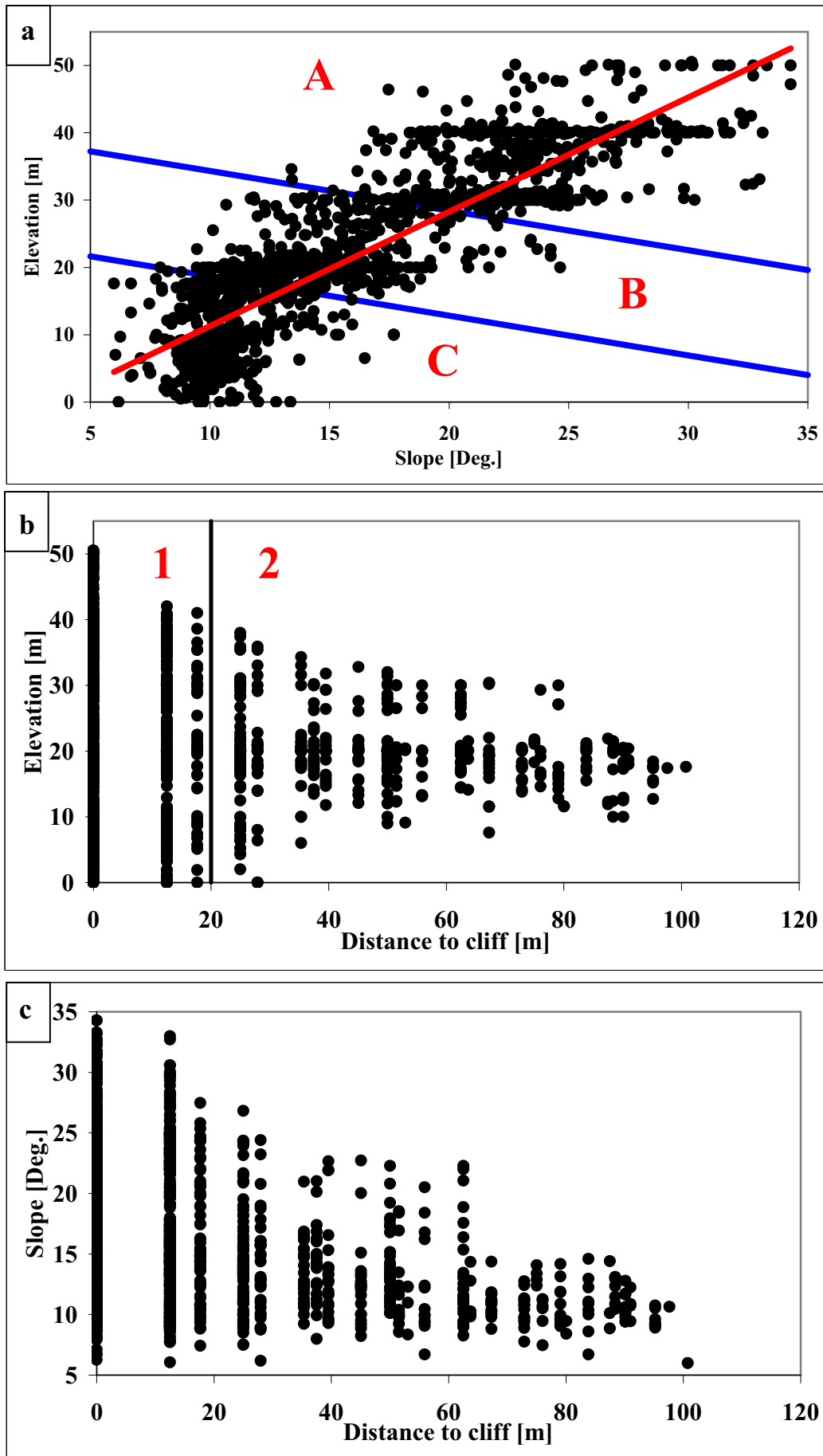
איור 1: שלבים בהרצת המודול, הדגמה מאזור מכון וינגייט. (a) מודל טופוגרפי דיגיטלי וקו גובה "אפס"; (b) מודל השיפועים; (c) חתך טופוגרפי וחתך שיפוע בצוק מכון וינגייט.



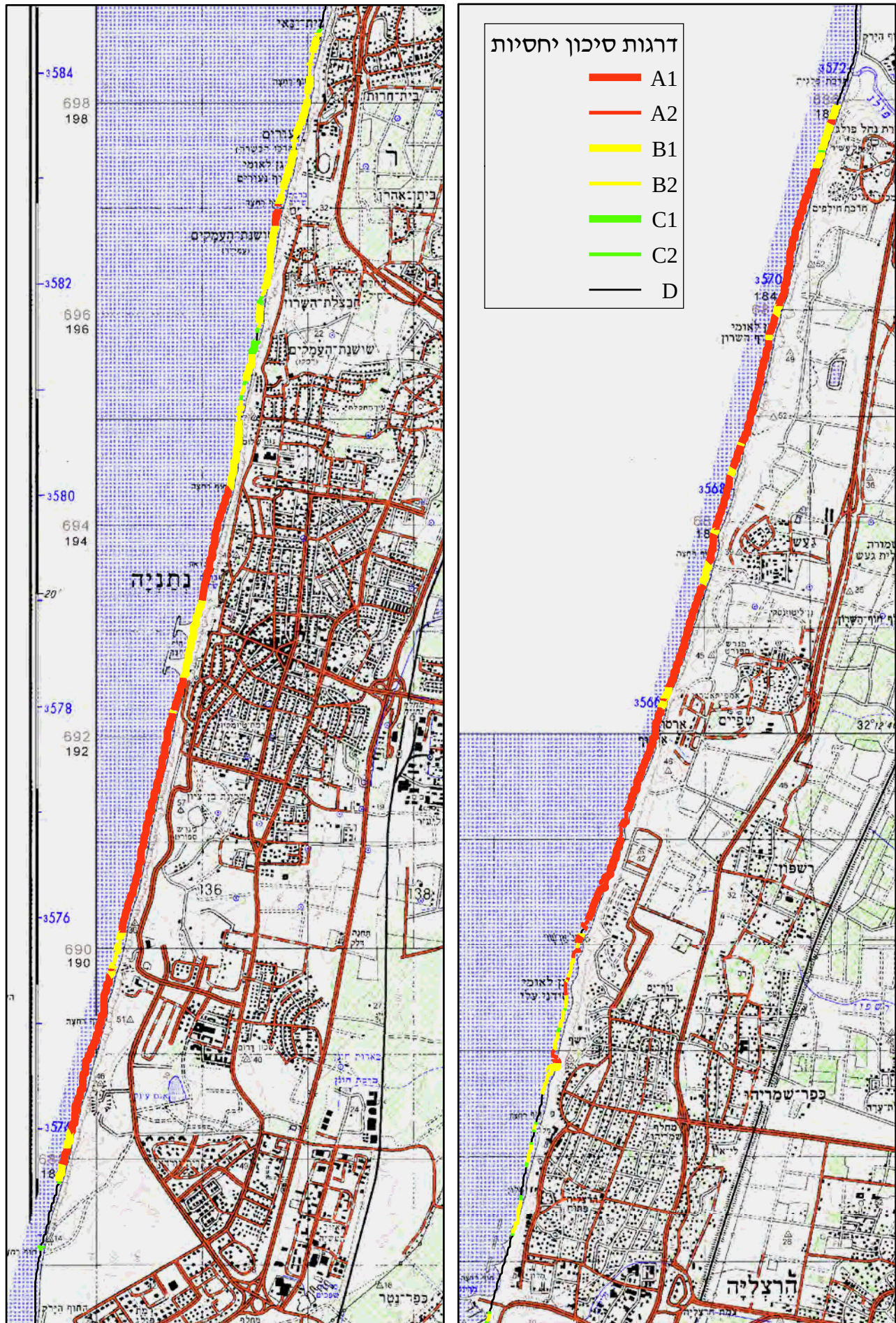
איור 1 (המשך): (d) גג ובסיס הצוק על רקע מודל השיפועים; (e) העתקה מערבה של ערכי השיפוע המרבי בצוק; (f) העתקה מערבה של ערכי המרחק בין קו החוף לבסיס הצוק; (g) העתקה מערבה של ערכי גובה גג הצוק.

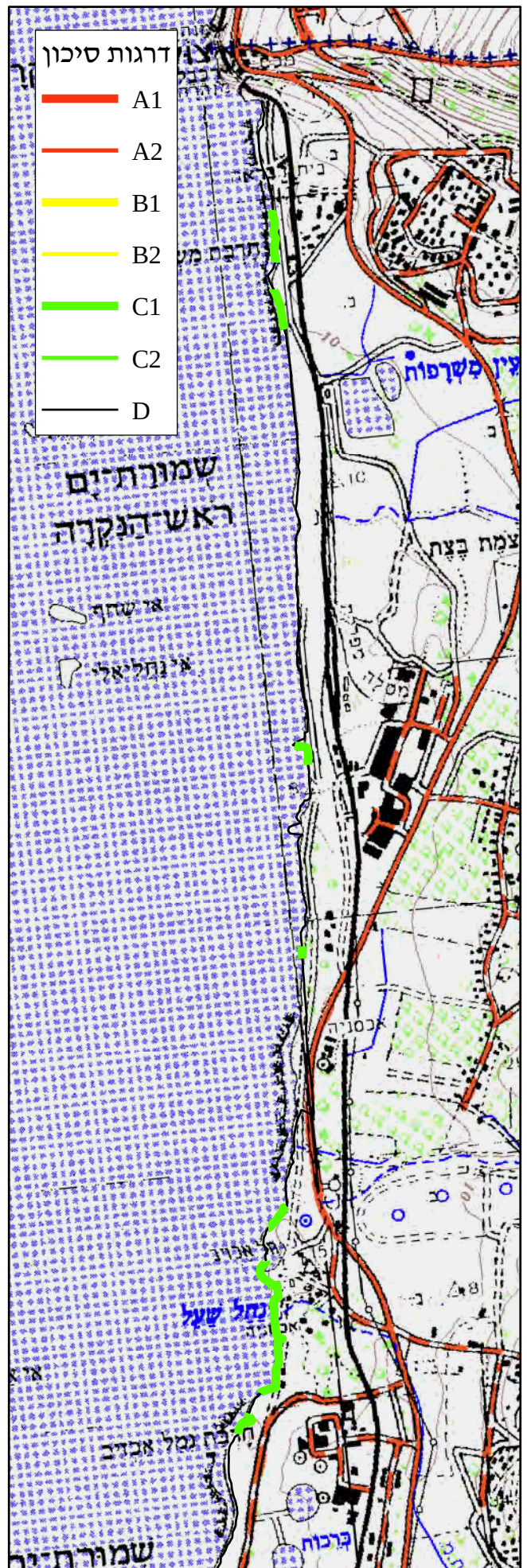
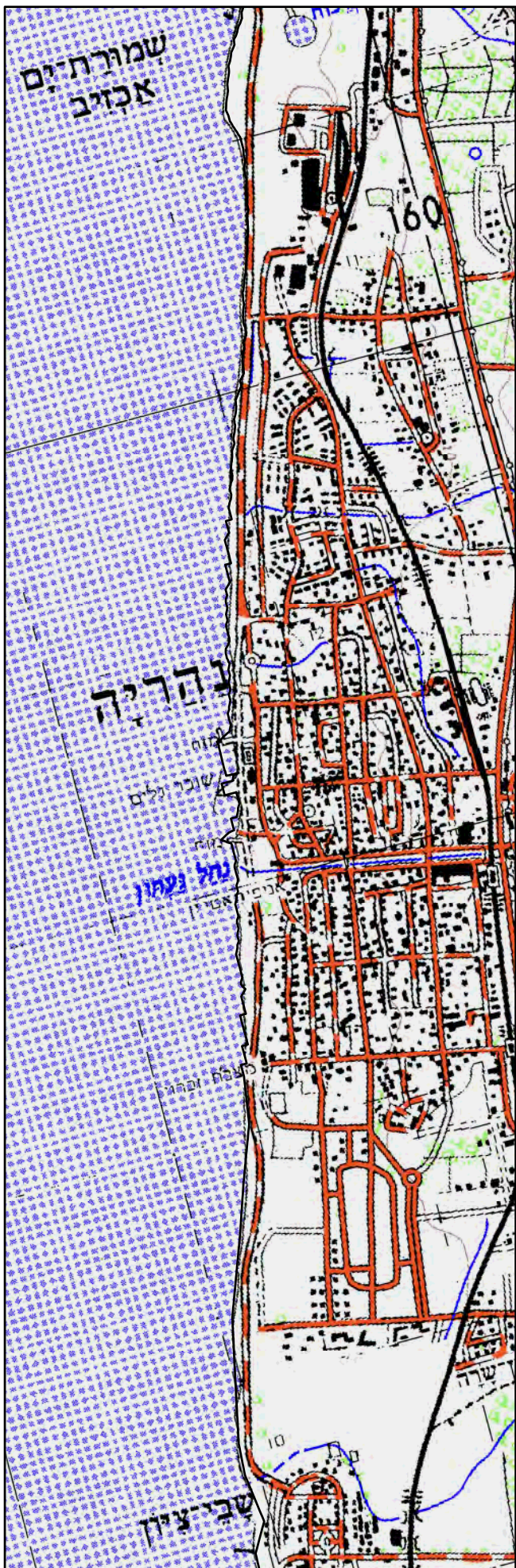


איור 2 : ערכי גובה הצוק, השיפוע המרבי והמרחק לקו החוף עבור נקודות מידע לאורך החוף הים-תיכוני.

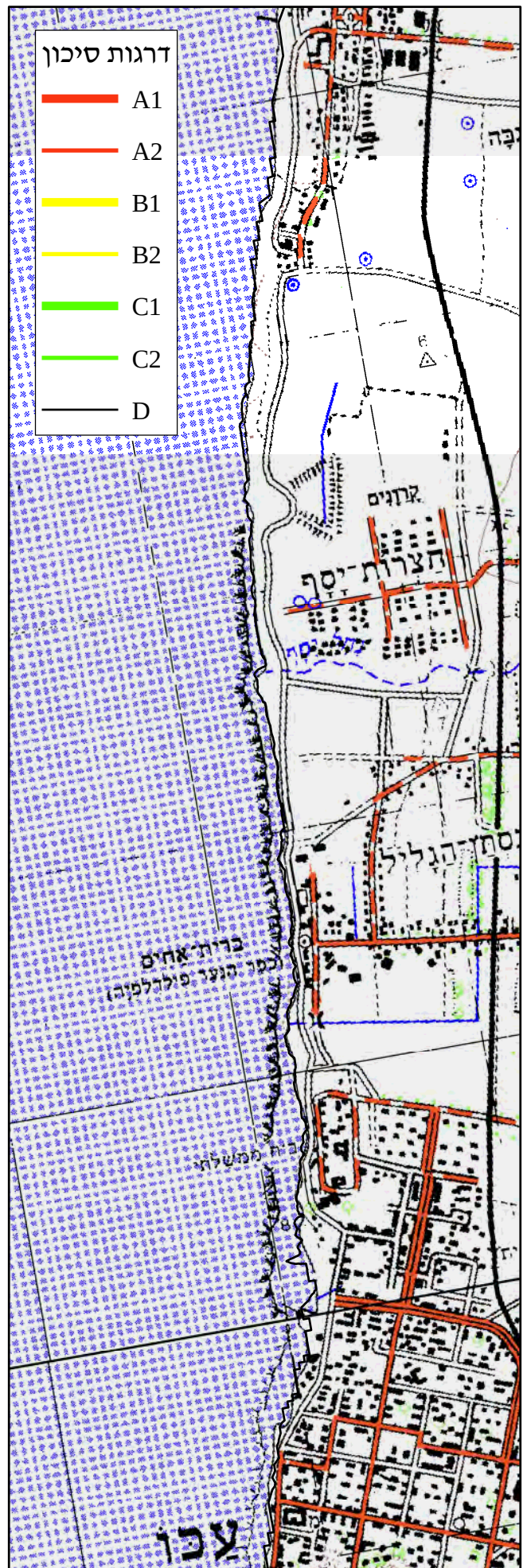
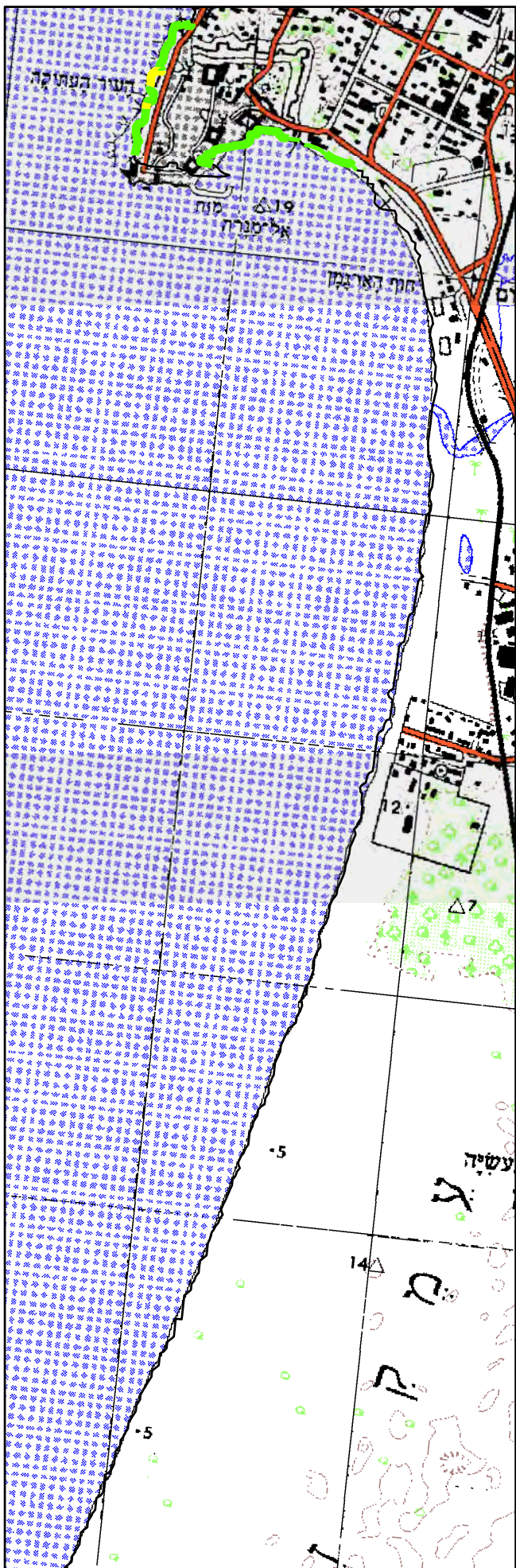


איור 3: יחסי גובה הצוק, שיפוע הצוק ומרחק הצוק מקו החוף עבור נקודות המידע לאורך החוף הימי-תיכוני והחלוקה לקטגוריות המשנה (A1 עד C2).

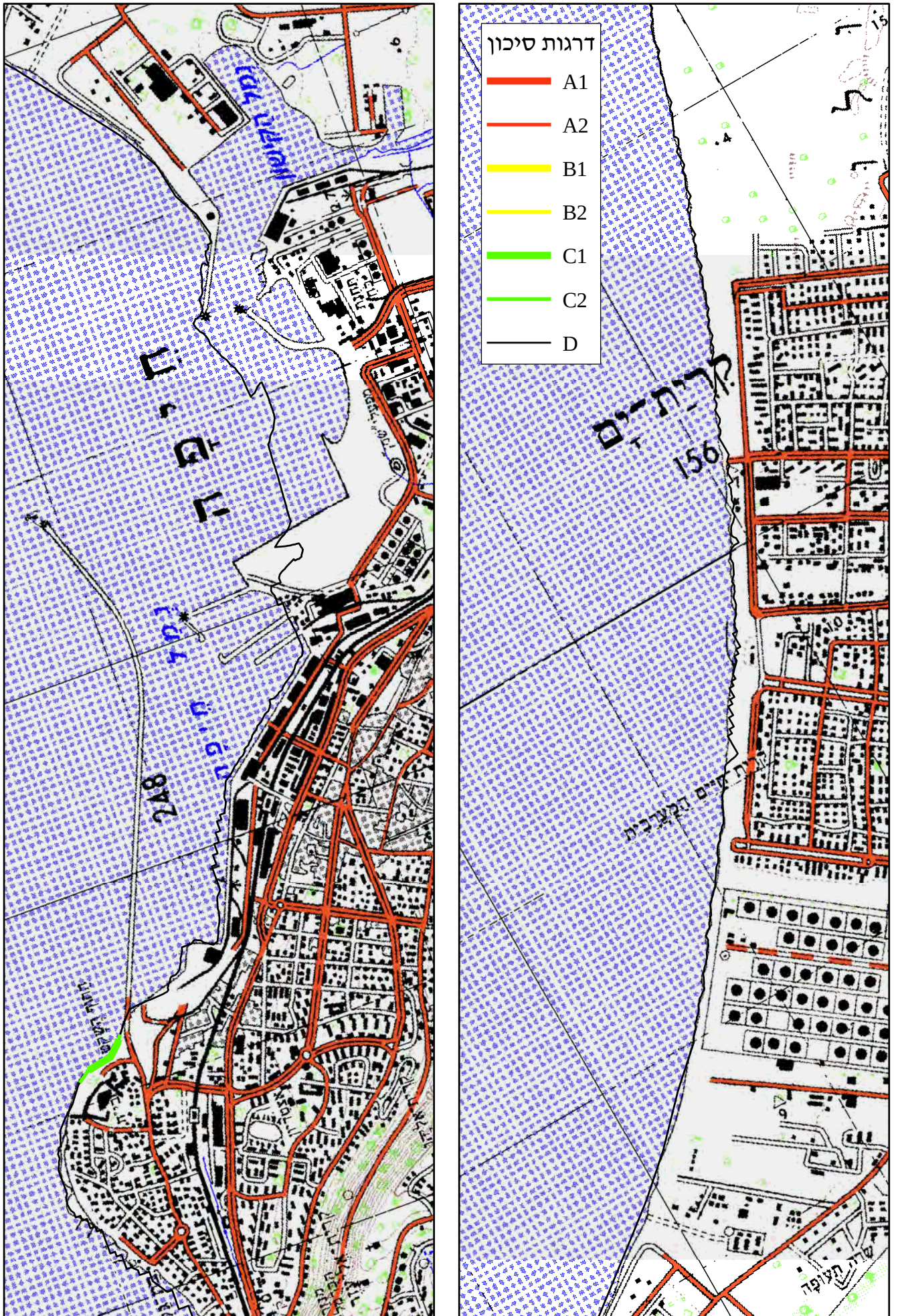




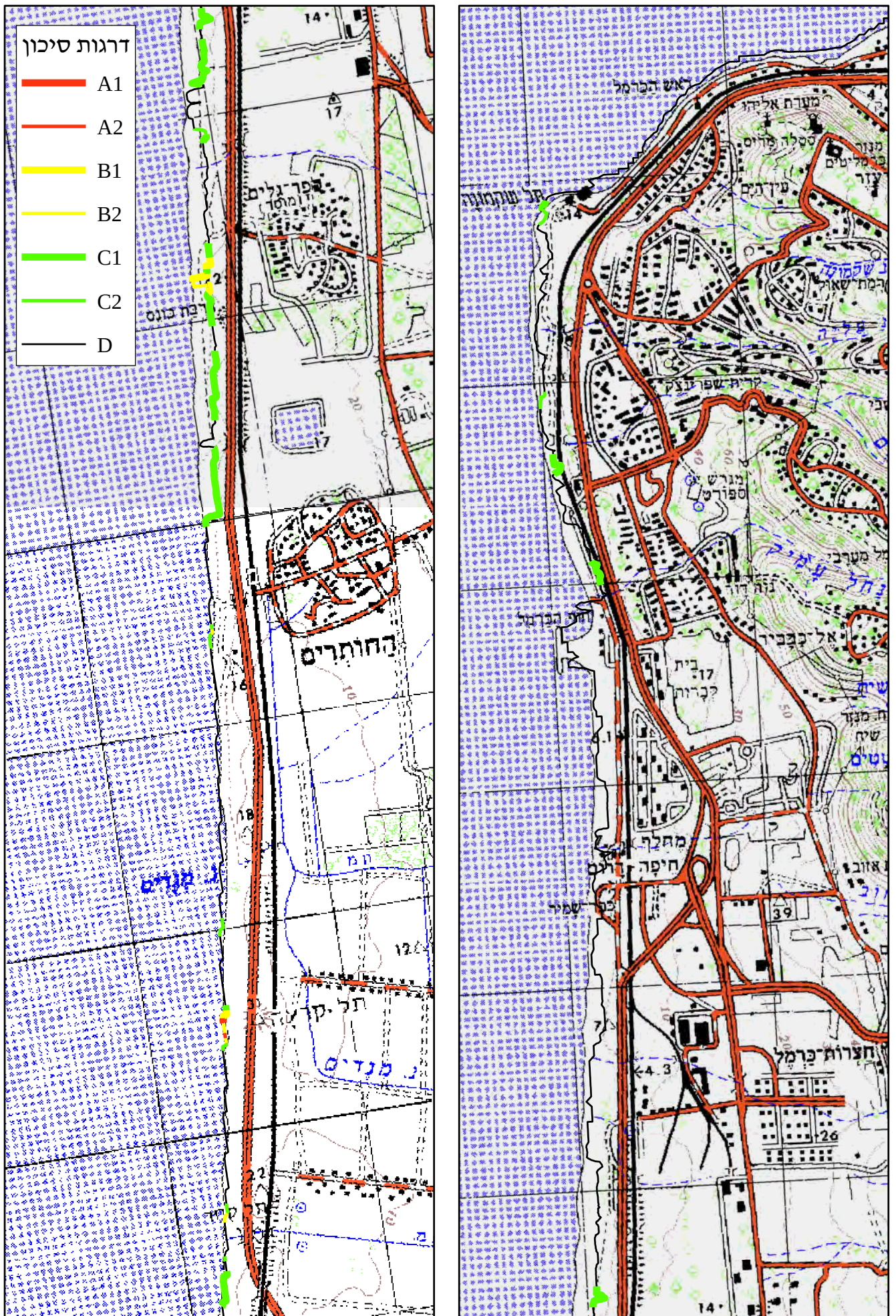
איור 5 : מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני.



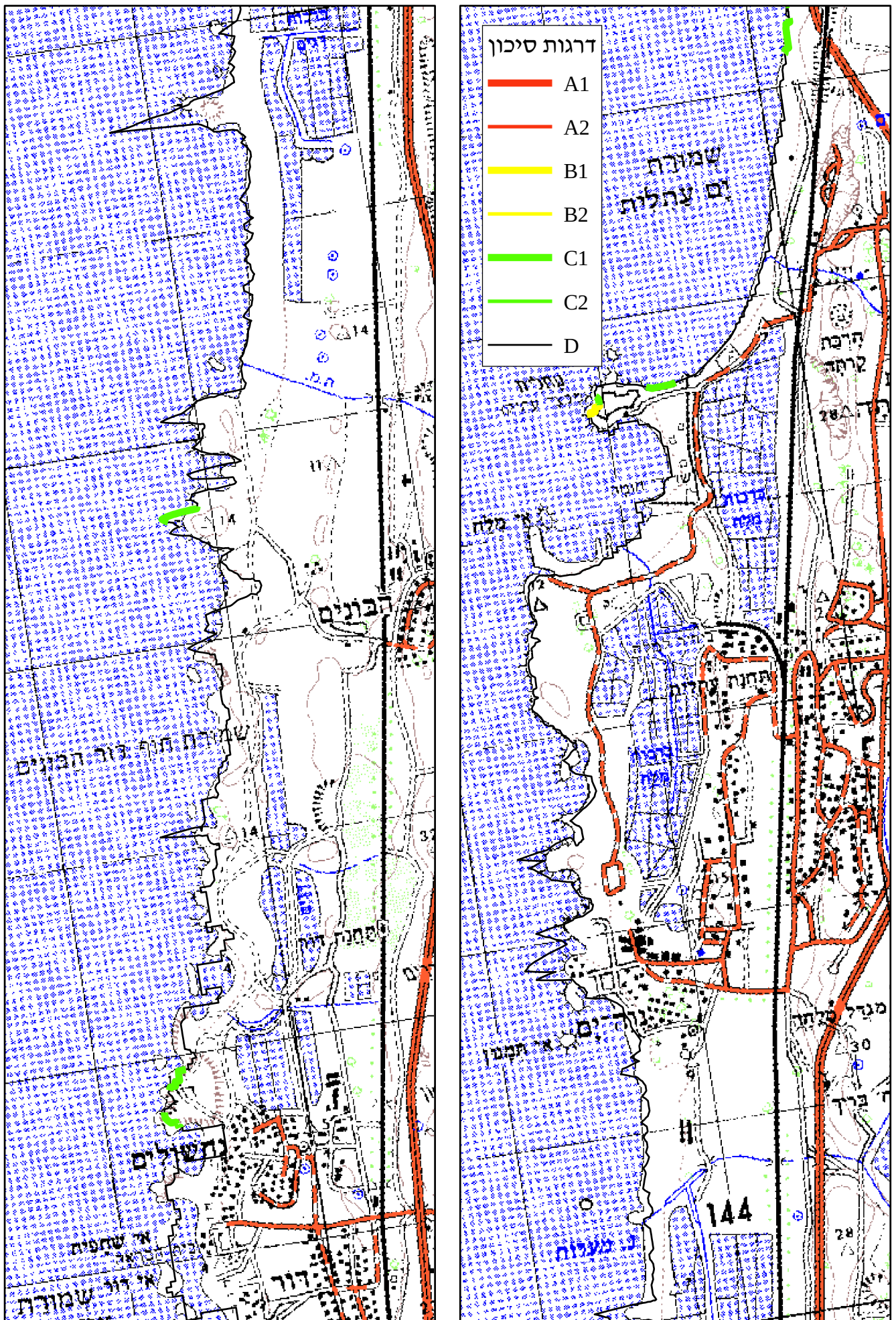
איור 5 : מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



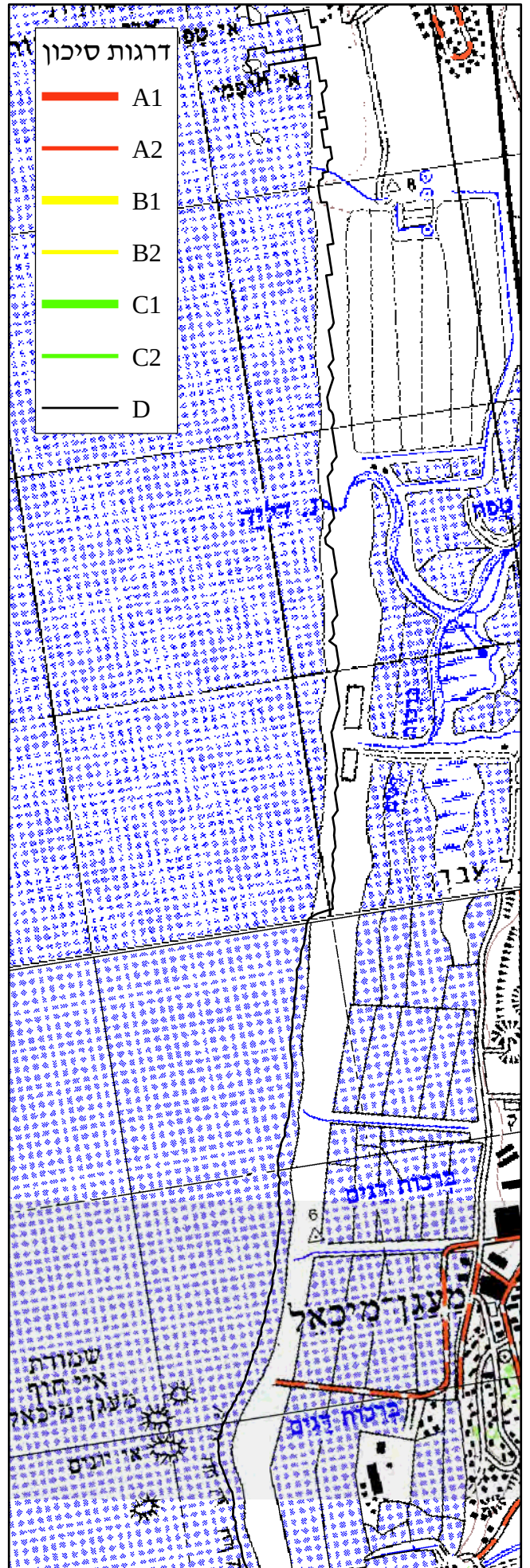
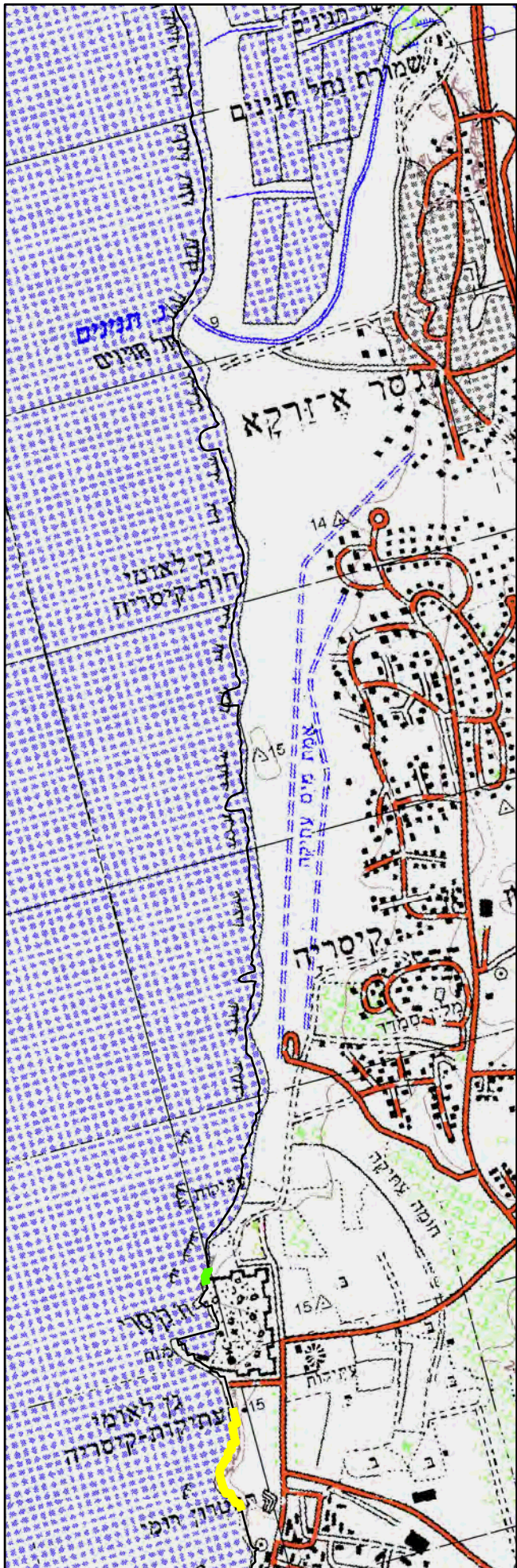
איור 5: מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



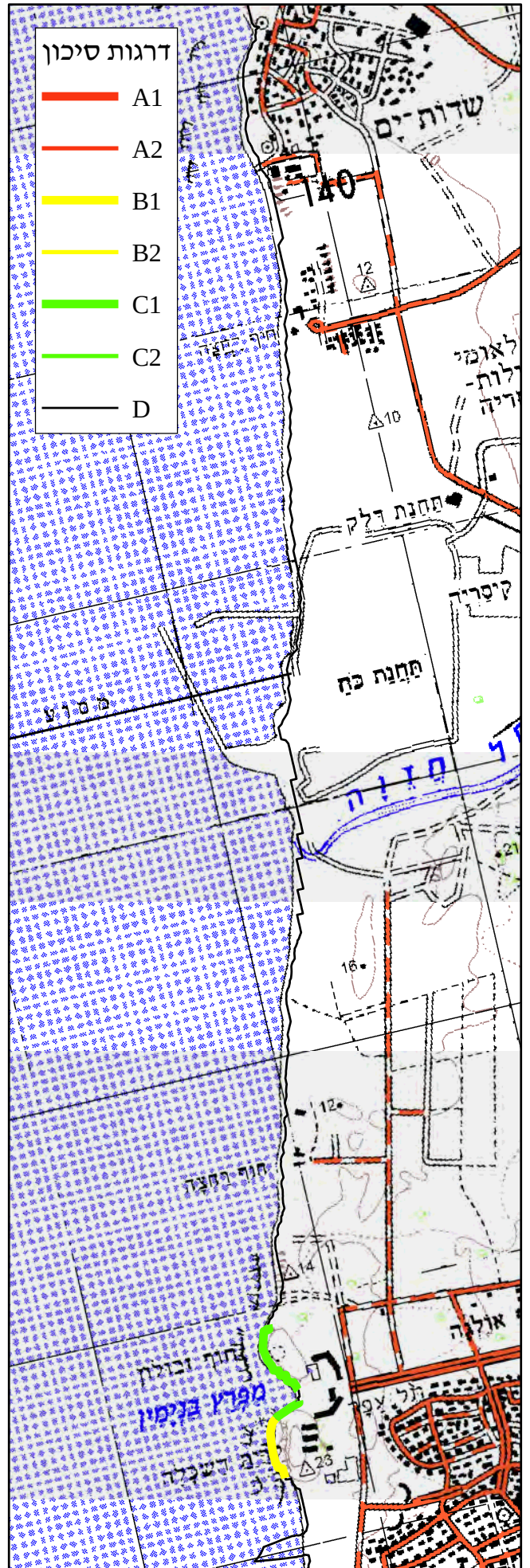
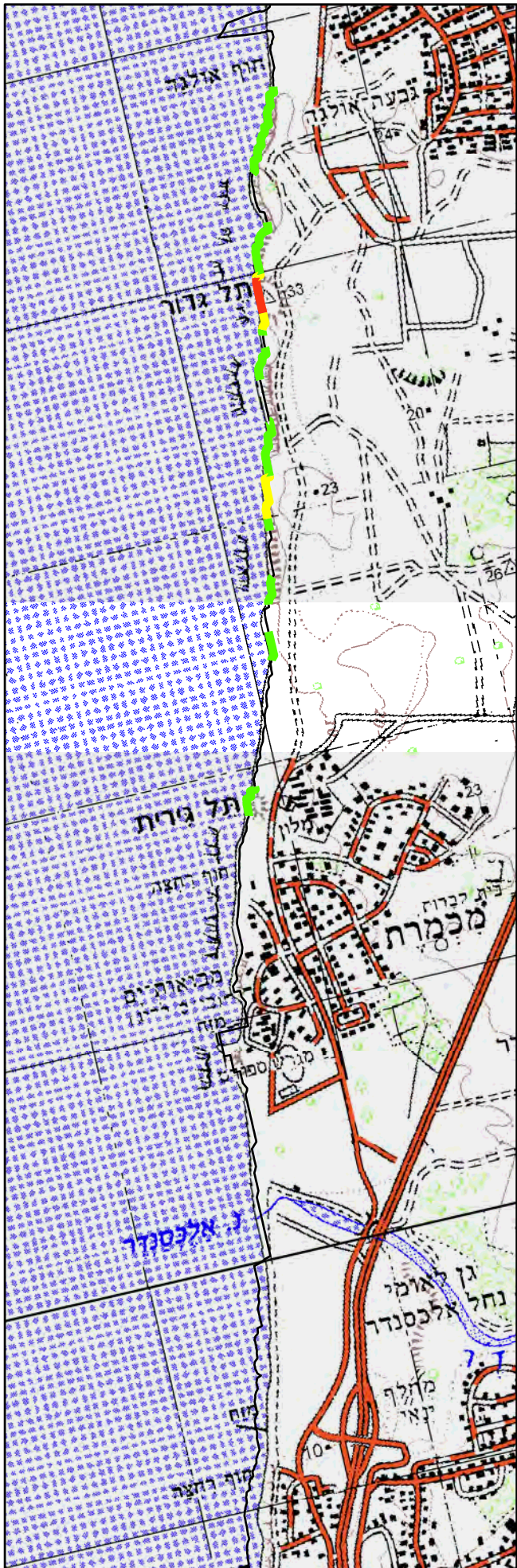
איור 5: מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



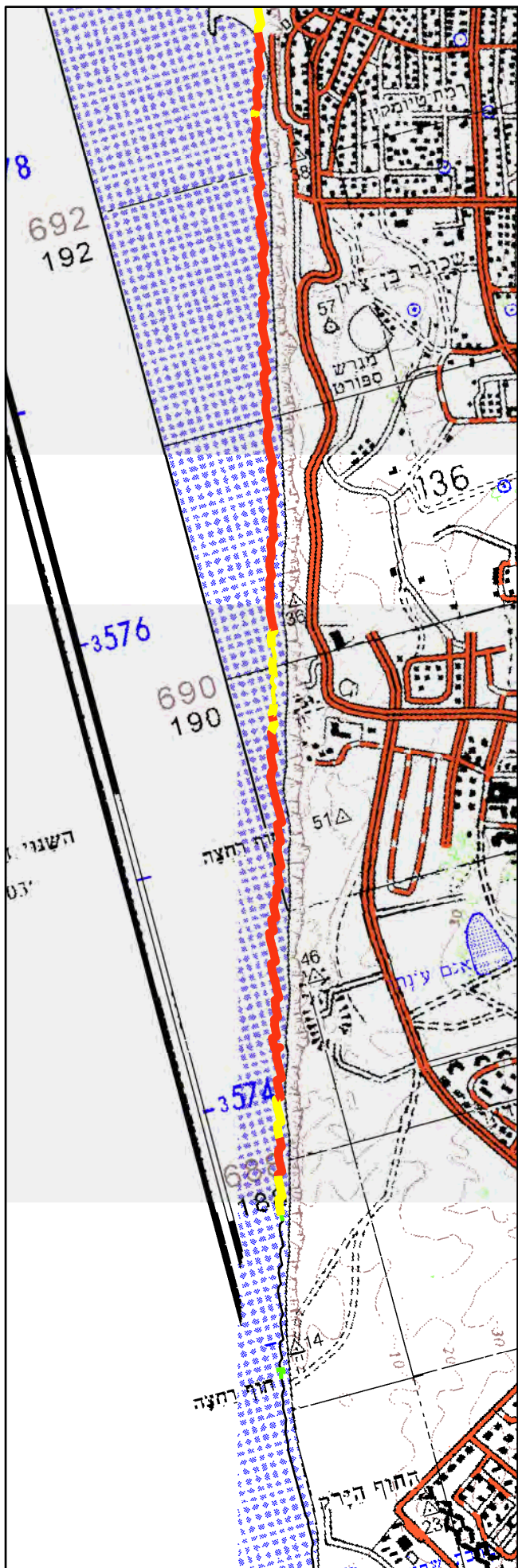
איור 5: מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשד).



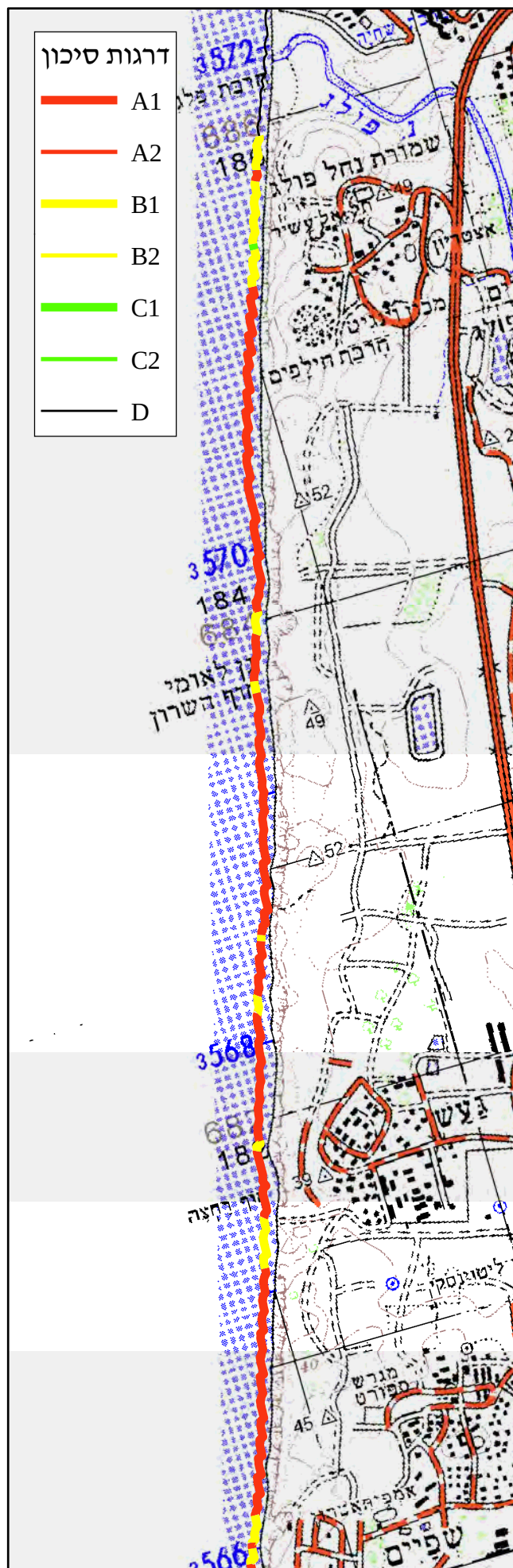
איור 5: מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



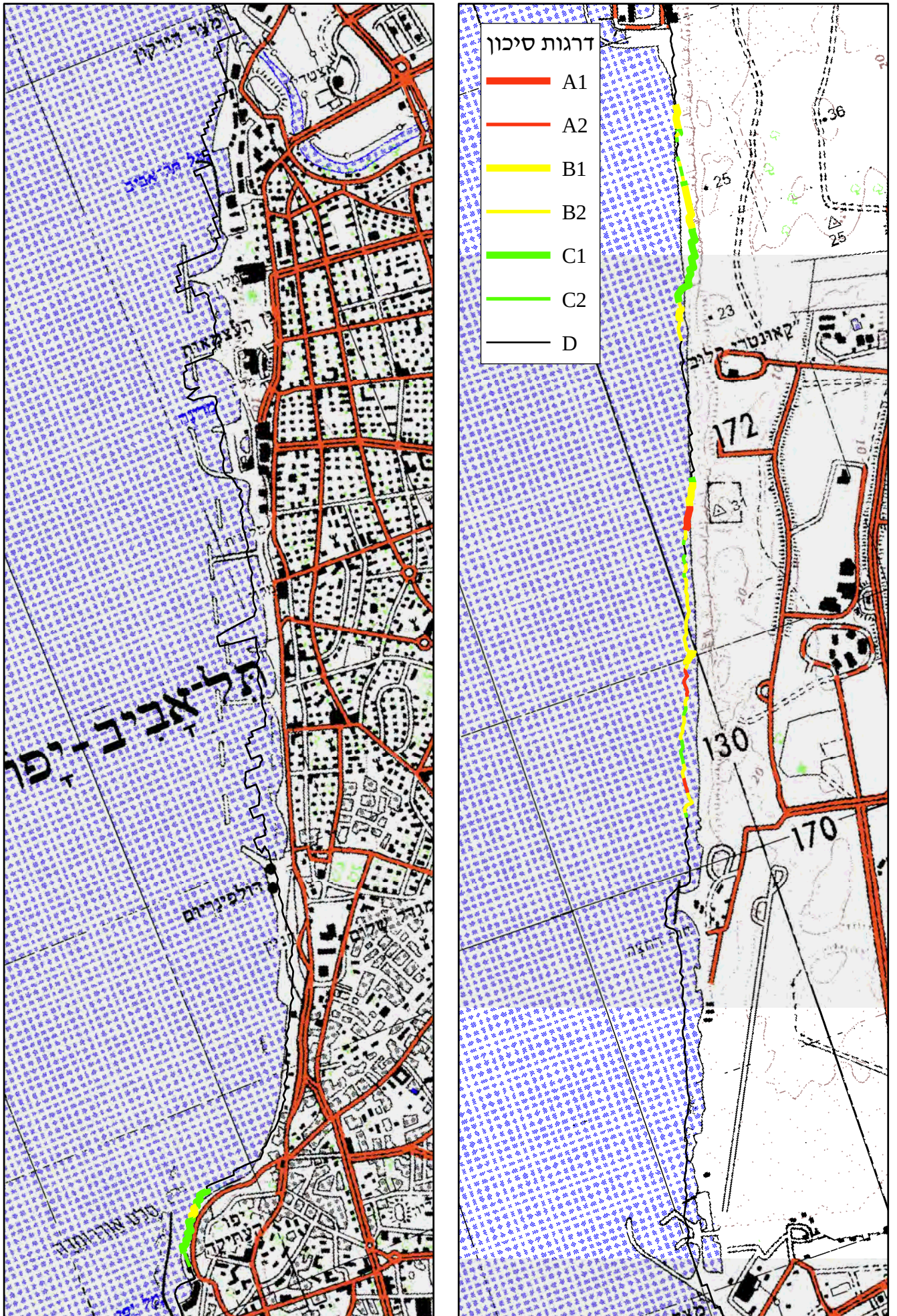
איור 5 : מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



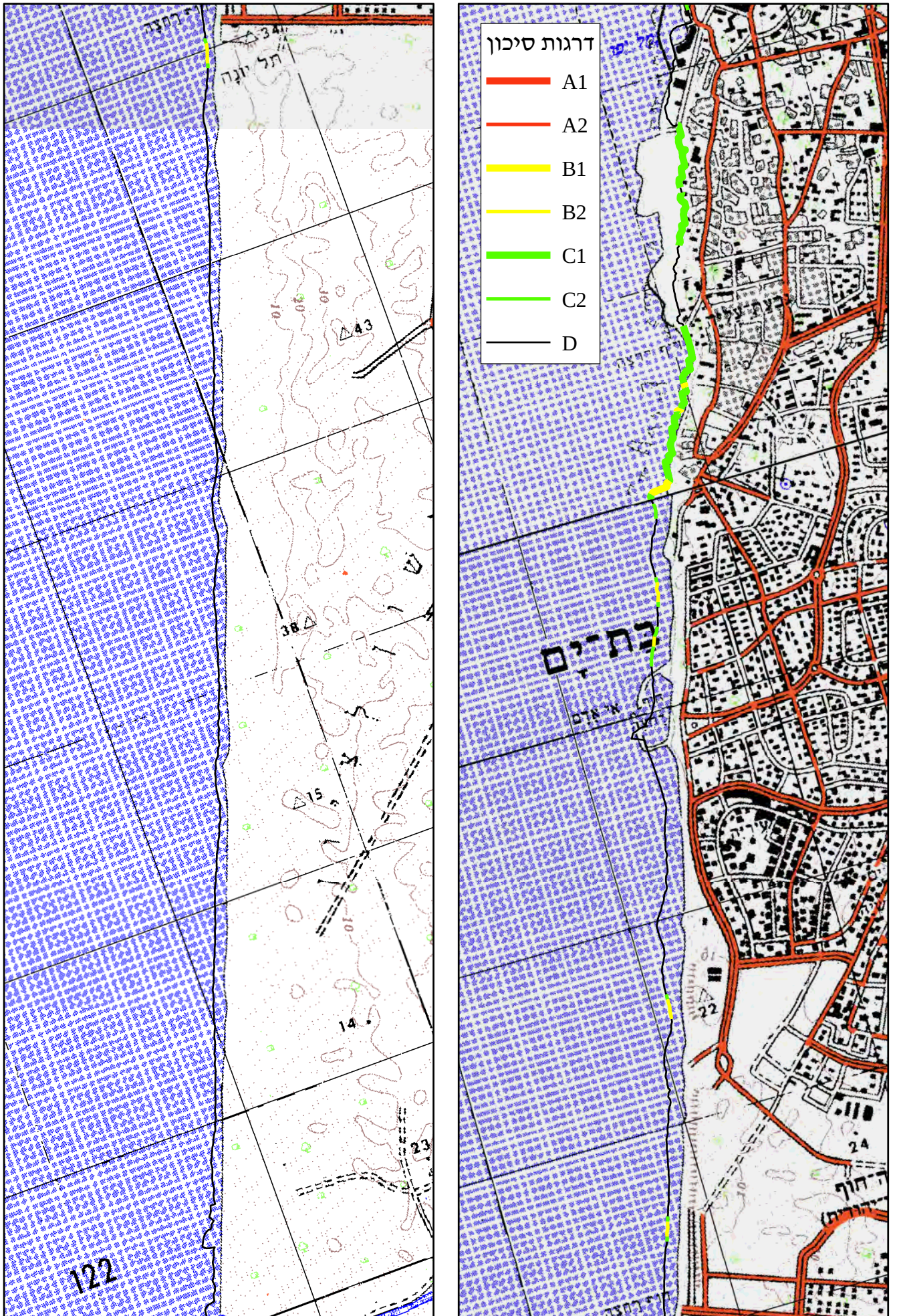
איור 5 : מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



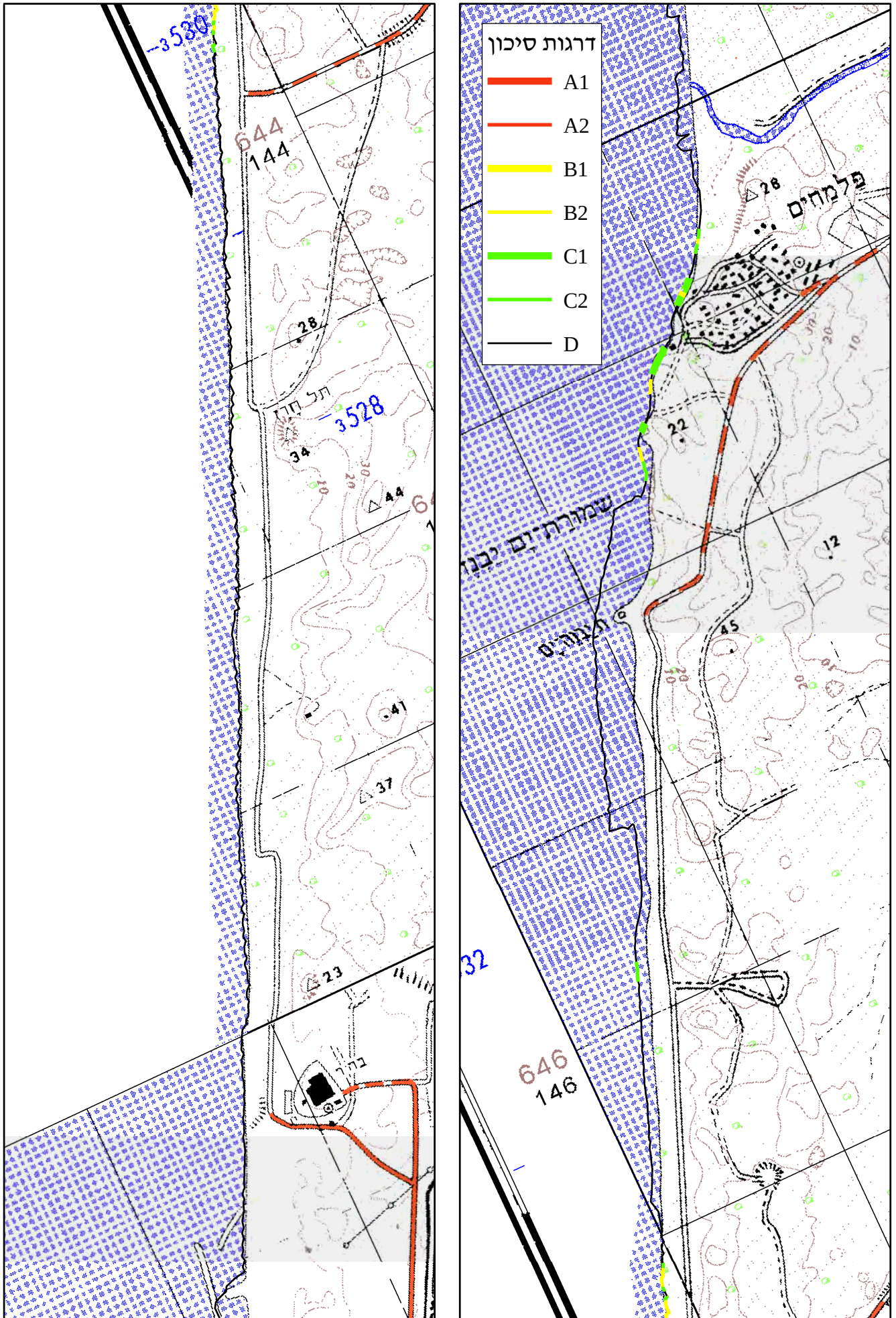
איור 5 : מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



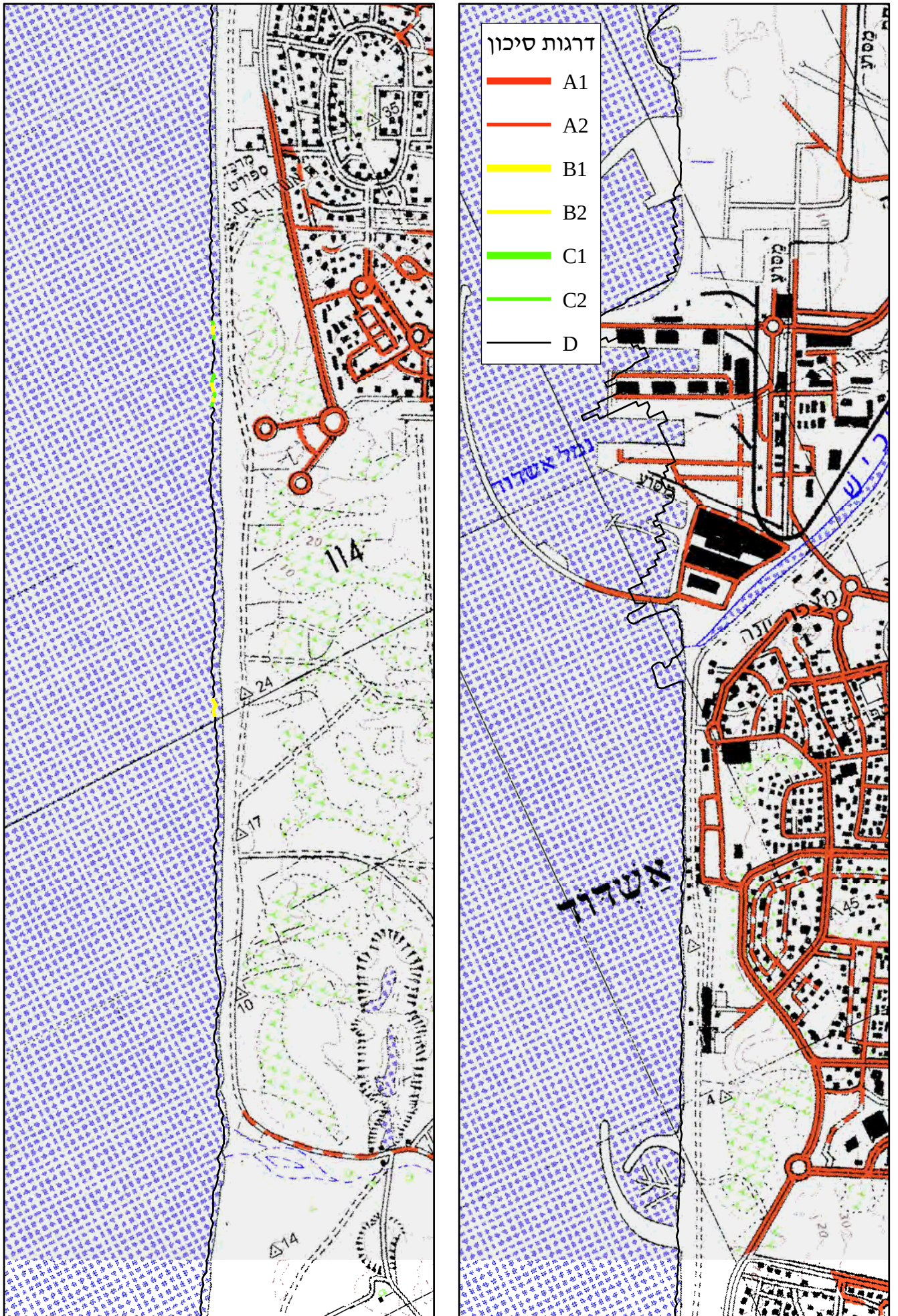
איור 5: מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



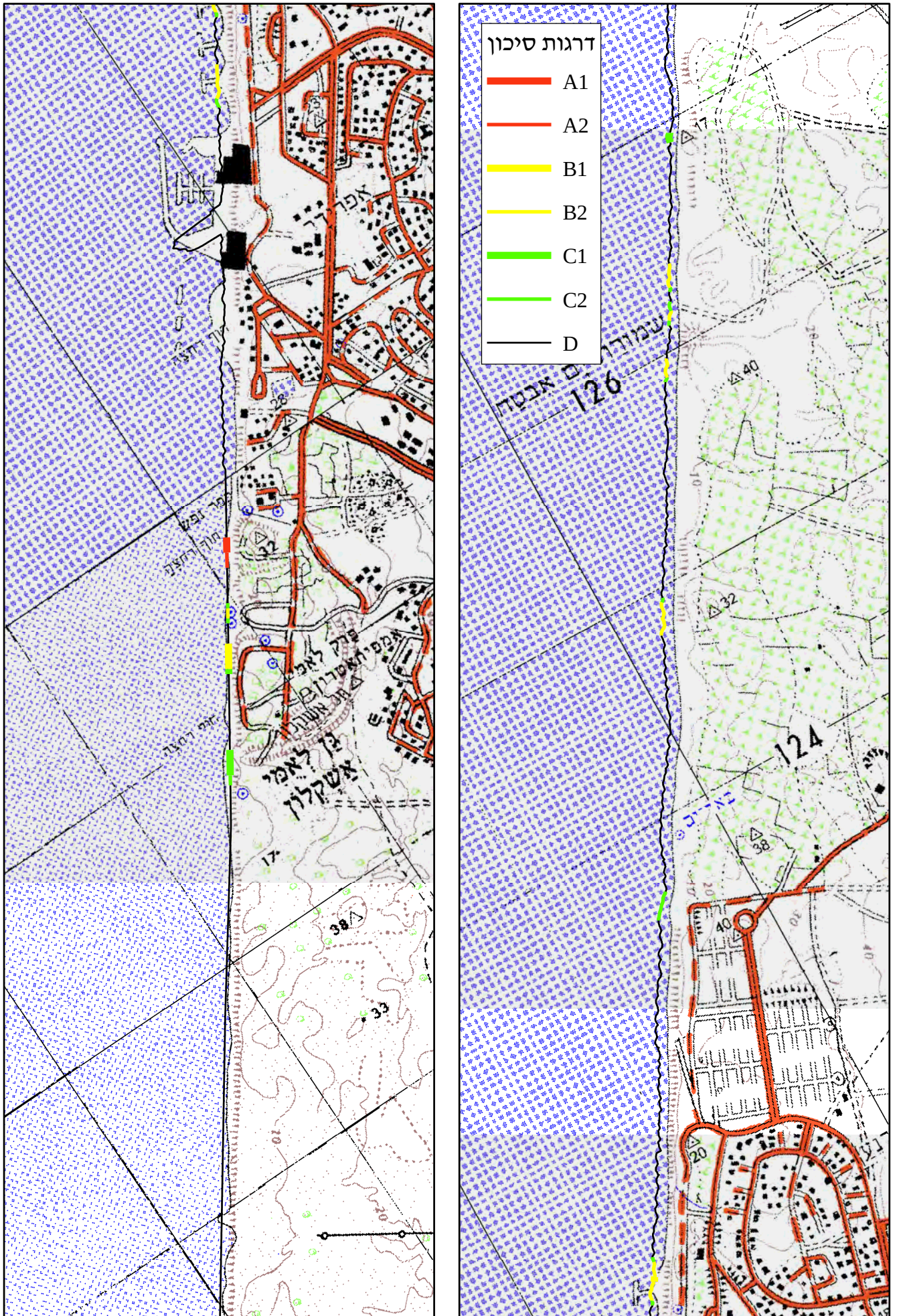
איור 5 : מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



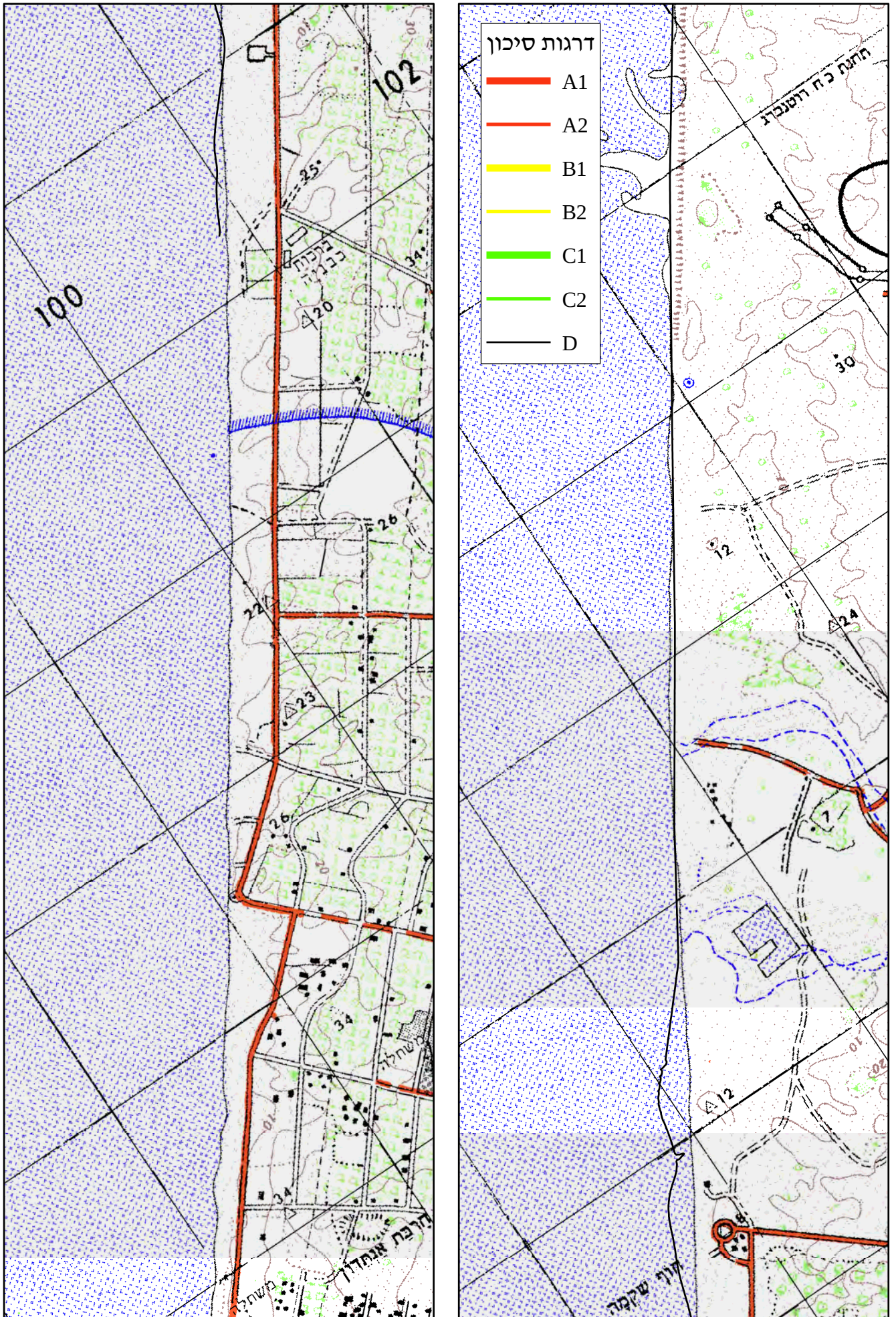
איור 5: מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



איור 5 : מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



איור 5 : מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



איור 5: מפת סיכונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



תמונה 1: קטע החוף שמדרום לראש הנקרה (מבט כלפי דרום); תמונה 2: חוף תל גדור, מדרום לגבעת אולגה (מבט כלפי צפון); תמונה 3: חוף ארבע העונות בנתניה; תמונה 4: חוף בית ינאי; תמונה 5: "צוק השרון" מדרום לאפולוניה; תמונה 6: "צוק השרון" מצפון לאפולוניה (אזור שפיים); תמונה 7: חוף פלמחים; תמונה 8: חוף אשקלון מתחת לתל העתיק של אשקלון.

תמונה מס' 5 - דרור עזרא

נספח

חישוב דרגות הסיכון היחסיות לאורך צוק החוף היס-תיכוני:

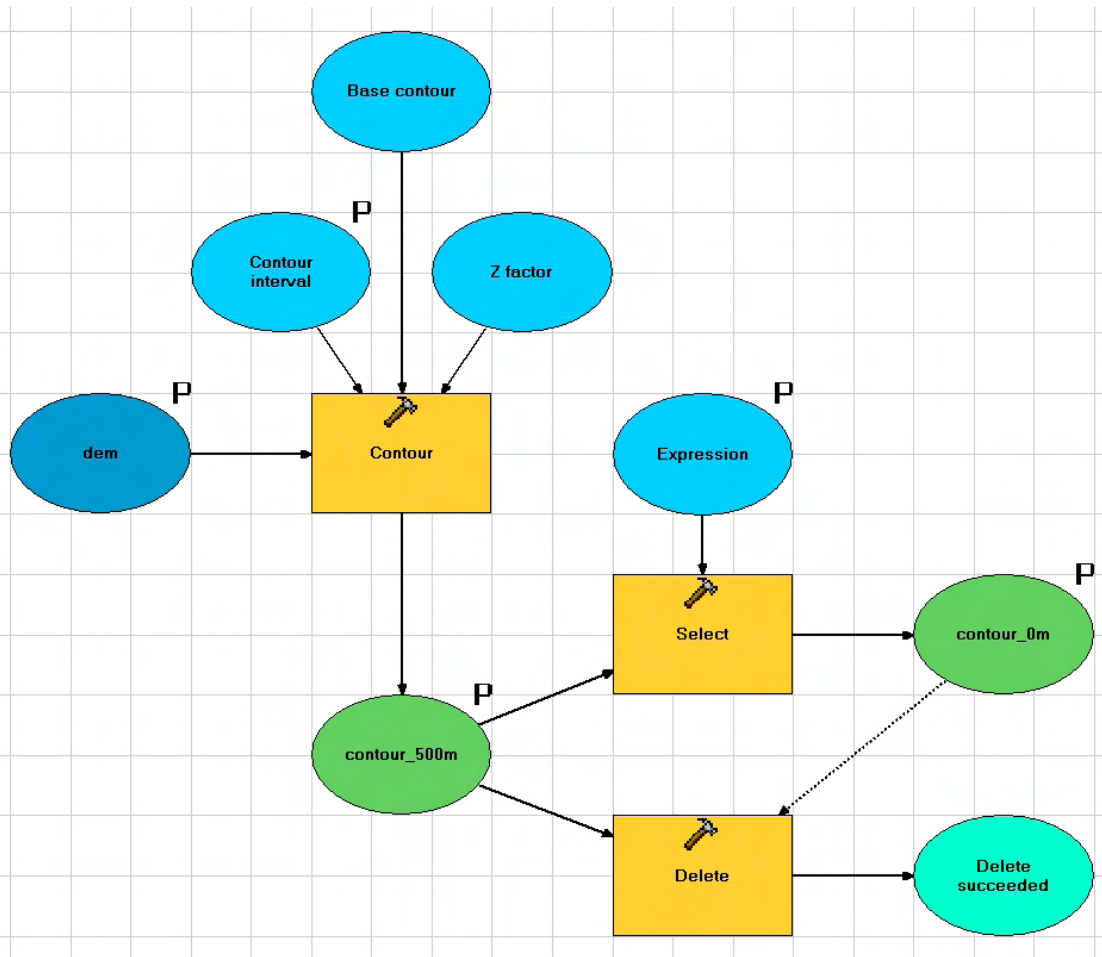
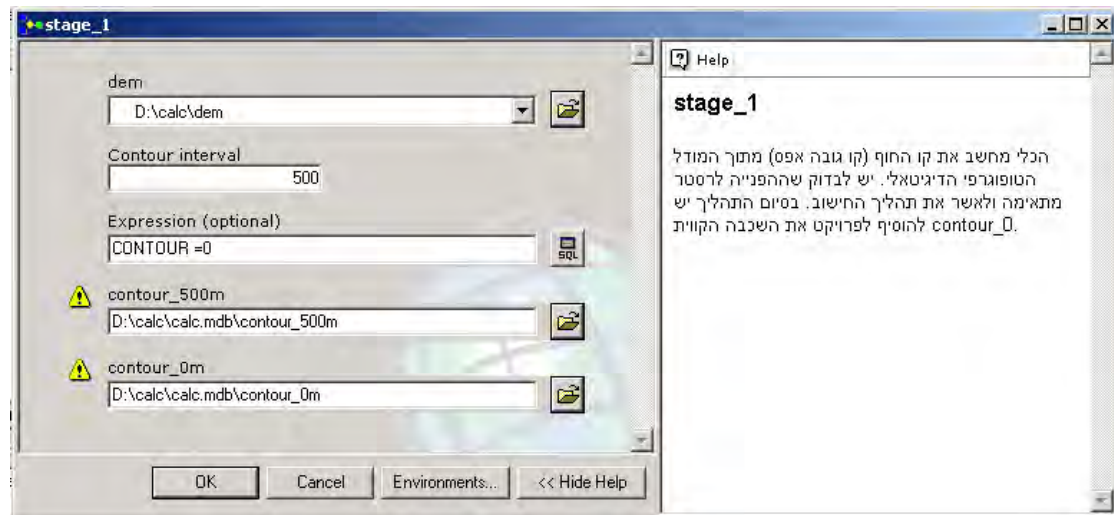
ישום בכלי GIS.

- א. דרישות המערכת: ArcGIS גרסה 9.1 ומעלה, ברמת ArcView ומעלה, ומחייב הפעלה של העזר Spatial Analyst. לצורך ביצוע מספר פעולות נעשה שימוש בעזר EasyProfiler וכן בעזר XTools Pro (ניתנים להורדה חינם באתר arcscripsts.esri.com).
- ב. העתיקו לכונן D במחשבכם את התיקייה calc המצויה באתר [ftp://ftp.gsi.gov.il/calvo](http://ftp.gsi.gov.il/calvo).
- ג. העבירו לתיקייה זו, באמצעות ArcCatalog, את המודל הטופוגרפי (DEM) של אזור המחקר. יש לשמור את המודל הטופוגרפי תחת השם DEM.
- ד. פתחו, באמצעות ArcMap, את הפרויקט בשם Hofim_risks המצוי בתיקייה.
- ה. הפעילו את חלון ArcToolbox והביאו לתוכו (על ידי פעולת Add Toolbox) את ה-Toolbox בשם Hofim_tool הנמצא בתיקייה calc.
- ו. הפעילו את המודל Stage_1 המצוי ב-Hofim tool. המודל יוצר קווי גובה על בסיס המודל הטופוגרפי השריגי, ובחר מתוכם את קו גובה "אפס". בסיום התהליך נוספת לפרויקט שכבה קווית בשם contour_0. שכבה זו מכילה, מעבר לקו החוף, הרבה מאד "זבל" אותו יש לנקות. יש לפתוח את השכבה לעריכה. לבחור את הקו הארוך ביותר, שהוא בדרך כלל קו החוף, ולמחוק את כל השאר. יש לבצע שמירה וסגירת העריכה.
- ז. הפעילו את המודל Stage_2 לחישוב אזור העבודה ומיקום גג ובסיס הצוק. המודל יוצר buffer של 250 מטרים מסביב לקו החוף. לאחר מכן מחשב את מודל השיפוע וממנו את מפת הקונטורים שווי השיפוע. מתוך כל הקווים נבחר קו שיפוע של 9 מעלות ונשמר בנפרד בשכבה בשם bott_top. המודל מוסיף לשכבה שדה בשם type ומעניק לה מסגרת עבודה על פי דומיין שהוגדר מראש (מכיל שתי קטגוריות: גג צוק ובסיס צוק). בסיום התהליך נוספת לפרויקט שכבה קווית בשם bott_top. שכבה זו מכילה את קווי הצוק (גג ובסיס). יש לפתוח את השכבה לעריכה ולחתוך את הקווים בחלק הצפוני ביותר של כל קו כך שהבסיס והגג יופרדו. יש לקדד תחת הטור type שבטבלה את הישות המתאימה (Top of cliff או Base of cliff). ניתן בשלב זה למחוק קווים מיותרים שאינם מייצגים את צוק החוף. אפשר להיעזר באורתופוטו לשם השוואה עם השטח.
- ח. הפעילו את המודל Stage_3 לחישוב המודלים השריגיים של (1) מרחק קו החוף מבסיס הצוק (diss2bott); (2) שיפוע מקסימלי הצוק (max_slope); ו- (3) רום טופוגרפי של גג הצוק (max_elev).
- ט. הפעילו את העזר EasyProfiler ודגמו בעזרתו את הנקודות, במרחק המתאים לרזולוציית הרסטר הבסיסי (25 מטרים במקרה הנוכחי), לאורך קו החוף (contour_0) על גבי שלושת הרסטרים שנוצרו (dis2bott, max_elev, max_slope). בסיום התהליך מתקבלים שלושה קבצים וקטוריים נקודתיים, אותם יש לאחד (join table) על בסיס הערך המשותף (מרחק הנקודה מתחילת הקו - distance). שמרו תחת השם all_point.
- י. חשבו את החלוקה לדרגות הסיכון של כל אחד מהפרמטים שנמדדו. ניתן להשתמש בכמה קבוצות שרוצים ובאיזה שיטת חלוקה שרוצים (לפי טווח, לפי כמות נקודות, טבעי וכ"ו, כפי שמופיע בחלוקת הקטגוריות ב-symbology). תנו ציון לכל נקודה לפי מיקומה בקבוצות החלוקה.

- יא. השתמשו בעזר XTools Pro לחלוקת קו החוף (contour_0) למקטעים באורך של מחצית מהמרחקים בין הנקודות (12.5 מטרים במקרה הנוכחי). שמרו תחת שם line_split.
- יב. צרו פעולת Join, על בסיס סמיכות מרחבית, בין שכבת הנקודות (all_point) ושכבת הקווים המקוטעים (line_split), כך שכל המידע המצוי בקובץ הנקודות יועבר לקובץ מקטעי הקווים. כל הקווים המקבלים את ערכי הנקודות שאינם במגע ישיר עימם יופיעו עם ערך distance גדול מאפס.
- יג. השתמשו בפעולת dissolve לאיחוד הקטעים בעלי אותה דרגת סיכון הצמודים זה לזה.
- יד. זהו. קיבלתם קו חוף מקוטע שלכל אחד ממקטעיו יש מאפיין המציין את דרגת הסיכון שלאורכו.

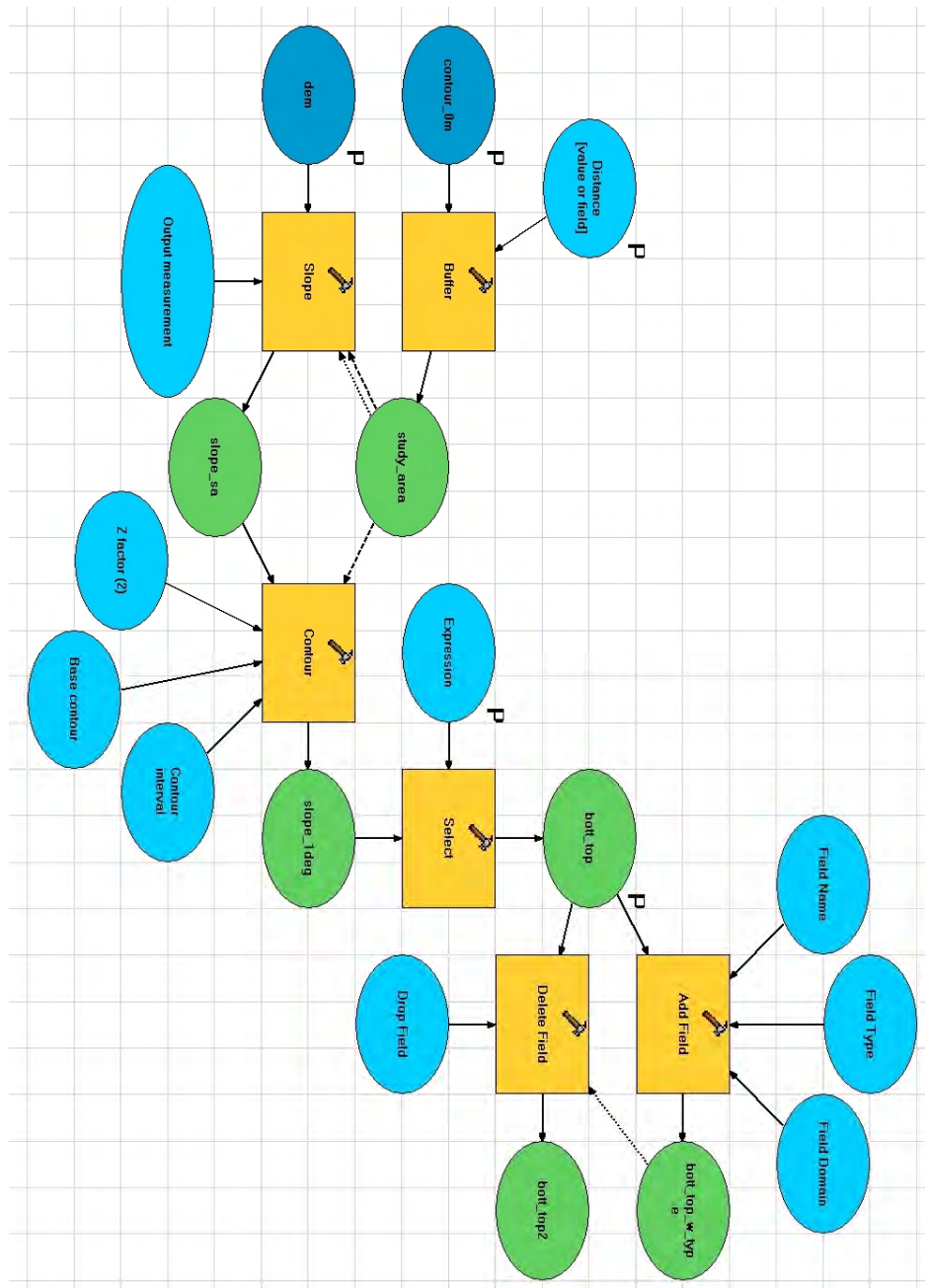
הקוד לביצוע כל הפעולות הנו פתוח ונמצא בתוך הכלי Hofim Tool. ניתן, במידת הצורך, לשנותו לצרכי עבודתכם. הערות או שאלות ניתן להפנות לרן קלבו בדוא"ל rani.calvo@gsi.gov.il.

Stage_1

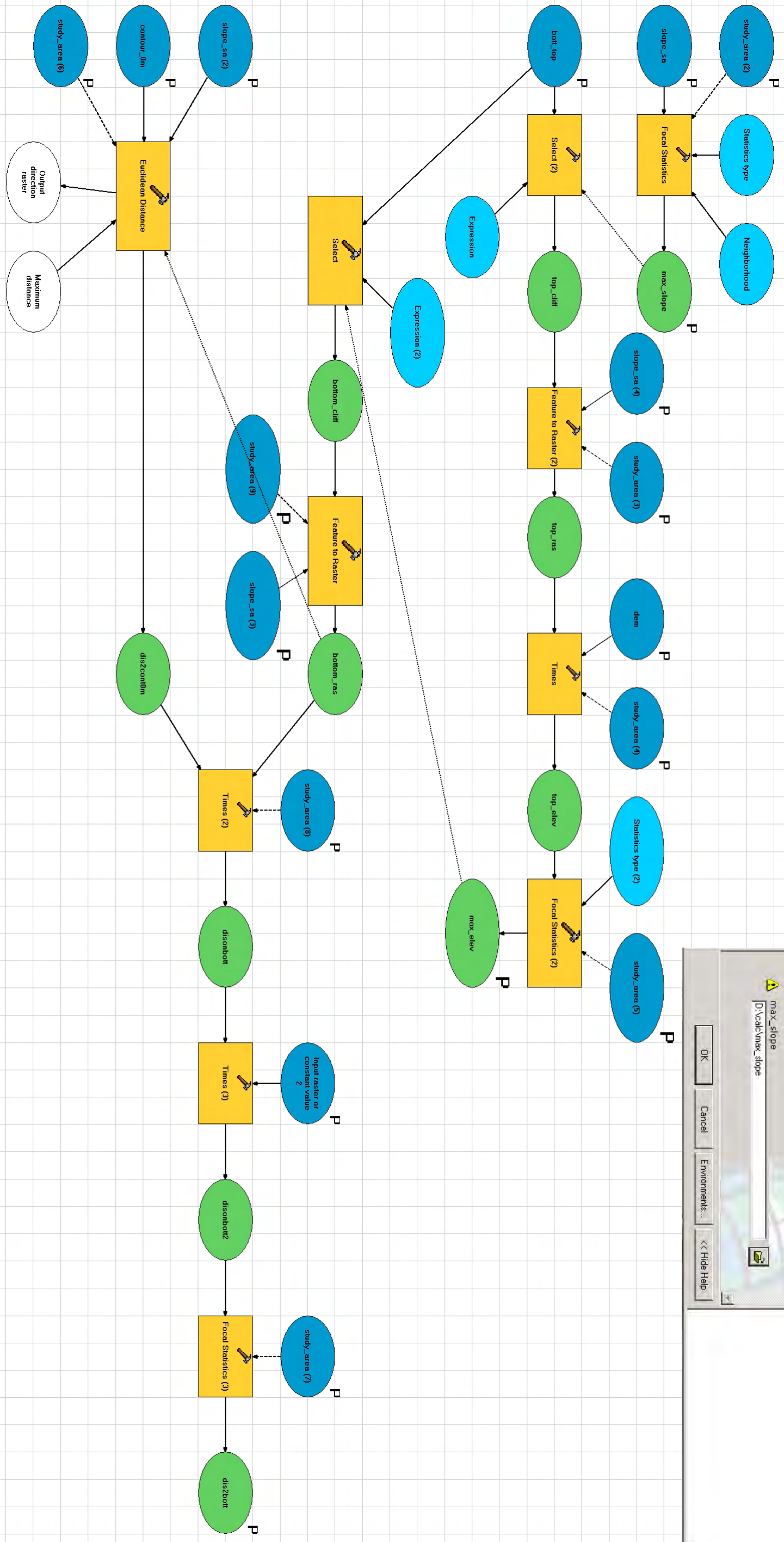
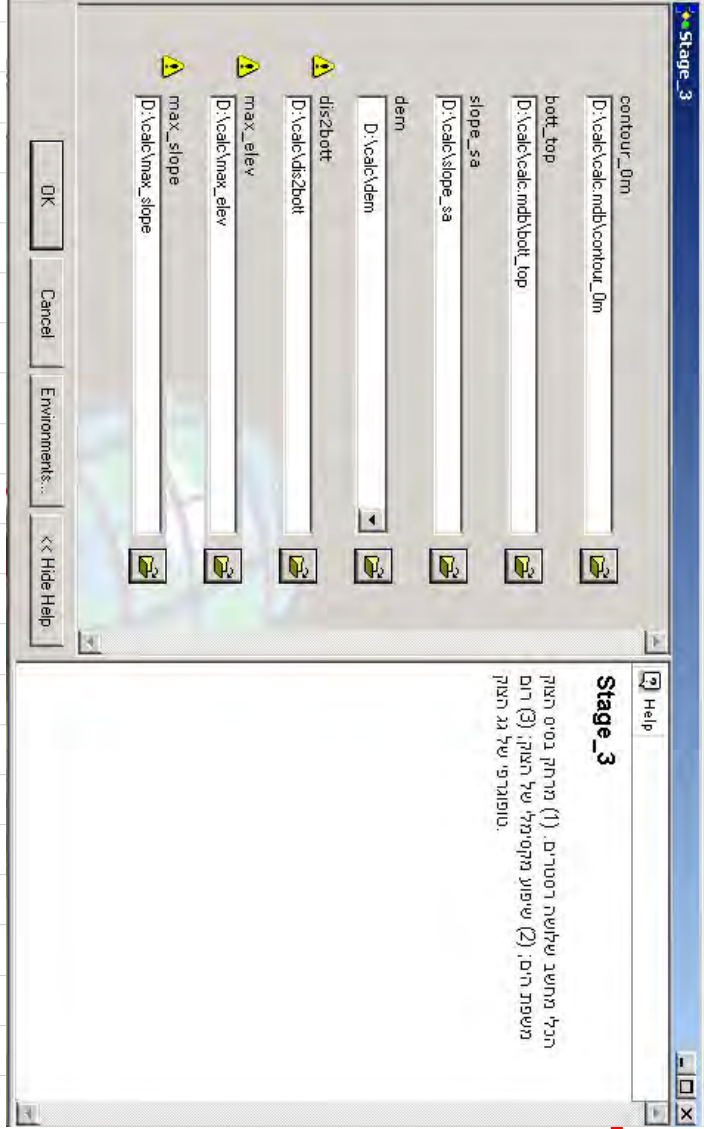


Stage_2

The screenshot shows the 'Stage_2' dialog box in QGIS. The dialog is for creating a contour map. It has several input fields and buttons. The 'contour_0m' field contains 'D:\calc\calc.mdb\contour_0m'. The 'Distance [value or field]' section has 'Linear unit' selected with a value of '250' and unit 'Meters'. The 'dem' field contains 'dem'. The 'Expression (optional)' field contains '[CONTOUR]=9'. The 'bott_top' field contains 'D:\calc\calc.mdb\bott_top' and has a warning icon next to it. At the bottom are buttons for 'OK', 'Cancel', 'Environments...', and '<< Hide Help'. The background shows a map of a field with a contour line.



Stage_3





THE MINISTRY OF NATIONAL INFRASTRUCTURES
GEOLOGICAL SURVEY OF ISRAEL

Ranking the level of denudation along the Mediterranean Israeli coastal cliffs: a GIS approach

Ran Calvo, Shimon Ilani, Ezra Zilberman

Presented to the Ministry of Environmental Protection