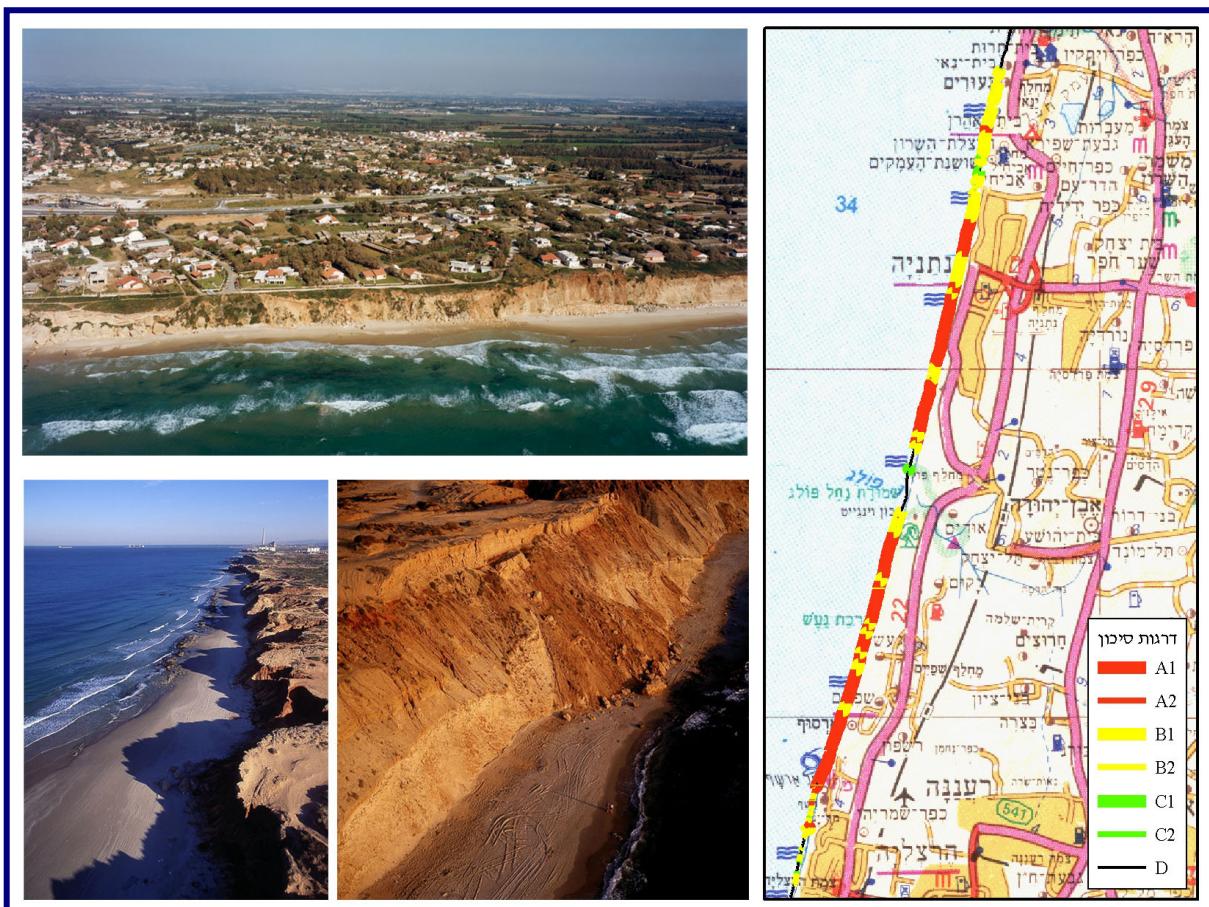




משרד התשתיות הלאומית  
המכון הגיאולוגי

## דירוג מידת הסיכון לנסיגה מוגברת לאורך צוק החוף הים-תיכוני: יישום באמצעות קלט ממ"ג (GIS)

רו קלבו, שמעון אילני, עזרא זילברמן







משרד התשתיות הלאומית  
המכון הגיאולוגי

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

**רון קלבו, שמעון אילני, עזרא זילברמן**

**מוגש למשרד להגנת הסביבה**

**דו"ח GSI/23/2006**

**ירושלים, תשרי תשס"ז, ספטמבר 2006**



## תקציר

צוקי הcorner, המלווים את קו החוף הישראלי, נתונים להרס מתmesh על ידי כוחות הבלתי המופעלים חן מכיוון הים (סערות החוף וمضץ הגלים) והן כתוצאה מצורת הצוק עצמו (גובה הצוק ושיפועו) המאפשרים גלישות גראביטטיביות של מקטעים אנקויים שונים בזוק.

הבדלים הקיימים, לאורך כלל קו החוף, במורפולוגיה (גובה, שיפוע, מרחק מקו המים), בستراتيجיה (חשיפה משתנה של חלקו חתך שונים לאורך קו החוף) ובלייטולוגיה (מסלול, מידת ליכוד, סיידוק וכי"ו) גורמים לקצבי נסיגה וסגנון הרס משתנים לאורך הצוק.

עובדת זו מנסה למדוד, באמצעות כל מדידה אחיד ממוחשב חצי-אוטומטיים, מספר פרמטרים לאורך קו החוף (גובה הצוק, שיפוע מרבי, מרחק מקו המים) ובאמצעותם לקבוע את רמות הסיכון היחסית של קטעי צוק שונים. חלוקה כזו מאפשרת לנו להפנות תשומת לבגדולה יותר לקטעי צוק בעיתיים 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 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, הנז ברמת סיכון הגבוה ביותר, אך מרביתו מצוי רחוק מאזורים מיושבים. קטע הצוק הביעתי השני מצוי בין נחל פולג לביית-ינאי והוא מביל כמות קטנה יותר של קטעי צוק ברמת סיכון גבוהה ביותר. קטע זה יש להפנות תשומת לב מיוחדת, לאחר 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 דגם מודל השיפוע המרבי, מודל המרחק ומודל הרום הטופוגרפי לאורך החוף .....	4
3.10 חלוקה לקטגוריות של דרגות סיון .....	5
פרק 4 : דרגות הסיון להרס הצוק לאורך החוף .....	6
פרק 5 : מסקנות ומחשובות להמשך .....	8
מקורות .....	9

## **איורים:**

איור 1 : שלבים בהרצת המודול, הדוגמה מאזור מכון וינגייט .....	10-11
איור 2 : ערכי גובה הצוק, השיפוע המרבי וה מרחק לקו החוף עבור נקודות מידע לאורך החוף הים-תיקוני .....	12
איור 3 : יחס גובה הצוק, שיפוע הצוק ו מרחק הצוק מקו החוף עבור נקודות מידע לאורך החוף הים-תיקוני .....	13
איור 4 : מפת הסיונים בקטע "צוק השرون" (נתניה - הרצליה) .....	14
איור 5 : מפת סיונים לאורך החוף הים תיקוני .....	15-29

## **תמונות:**

لوح 1 : תמונות מהשתת .....	30
----------------------------	----

## **נספחים:**

נספח מס' 1 : דרגות הסיון היחסיות לאורך צוק החוף הים-תיקוני: יישום בכלי GIS .....	31-35
--	-------



## פרק 1: רקע

ציר הרכס החופי (רכס דורה) מקביל, בדרך כלל, לקו החוף של הים התיכון (אלמגור, 2005). רכס זה, שהיה בעבר סימטרי, מגודד כיוום בחלקו המערבי ובמקומות אף עבר הגידוד את שיאו הטופוגרפי כלפי מזרח. גידוד הרכס יצר את "צוק השרווי", שהוא תוארי הנוף הבולט ביותר לאורך חוף הים התיכון. גידוד הצוק החופי נגרם בעיקר כתוצאה מהלמאות הגלים בסיסו (כפי שיתואר בהמשך), אך למידת חזק הסלע, ליכודו וסידוקו השפעה לא מבוטלת על עמידותם המשטנה של קטעי הצוק השונים. אף על פי שהקו היישר הכלול של הצוק נשמר, מתחוללת נסיגת הצוק בכו מפותל ומשונן, כתלות בתנאי המסלע המקומי, ברוחב החוף החולי, בהימצאות או היעדרות של טבלאות גידוד ימיות וסלעים חוף, וכן במשטר הגלים והזרמים בו.

התהליכיים המחזוריים המוביילים לנסיגת הצוק הוצגו על ידי אלמגור (2002) והם כוללים את השלבים הבאים: חתירת צניר בסיס הצוק על ידי גלי הים, בדרך כלל במהלך סערה; ניתוק וגילישה של קטעי צוק, בדרך כלל בתחילתה בסיס הצוק ובהמשך בחלקו הגבוהים יותר, כתוצאה מאירוע גרביטטיבית; התיציבות של סינר דרדתני המגן על הצוק מפני הגלים; סילוק מתמשך, איטי או מהיר, של הדרדת וחישיפת בסיס הצוק וממנו התחלת של מחוזר נוסף. פרט ואלמגור (1996) קבעו כי אין קשר סיבתי או סטטיסטי בין תכיפות הגלישות לבין גובה הצוק או הסדר הליטולוגי/סטרטיגרפי המקומי שלו.

נתונים חמוטיים על קצב הנסיגה כמעט ולאיים קיימים. עבודות בודדות שנעשו, לדוגמה, דרך השוואת תצלומי אויר (צביאלי וקלין, 2002) או במידות גיאודטיות (גרינשטיין, 1997), היו בדרך כלל מוגבלות בהיקפן ומעולם לא הוצגה חלוקה של כל קו החוף לפי רמת הסיכון היחסית להתקפות הנסיגה לאורך הצוק.

ניתן להשתמש במגוון של פרמטרים מדודים המאפיינים את קטעי הצוק השונים על מנת לתת הרכה, 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 גבוהה.

## פרק 2: מטרות

1. קביעת פרמטרים לדירוג מידת הסיכון לנסיגה מוגברת של קטעי הצוק השונים לאורך חוף הים התיכון.
2. חלוקת קו החוף של ישראל לקטעים לפי מידת הסיכון להרס הצוק הסמוך להם. ייצור המקטעים באמצעותמודולים בכלים ממ"ג (ArcGIS 9.1 Model Builder) על מנת לסייע 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 האמתי, כפי שנכפה בעבודת השטח (זילברמן וחבריו, 2006), ולהערכת הסובייקטיבית שיש לו לגבי מידת הסיכון להמשך ההרס בקטעי הצוק השונים.

## פרק 3: השיטה

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

הנחה הבסיסית שבעבודה זו הייתה שככל שהצוק תלול יותר וגובה יותר מידת הסיכון הטעונה בו להמשך ההרס עולה, וכן, ככל שהצוק קרוב יותר למקום המים קצב ההרס שלו יגבר כתוצאה מסילוק תוצריו הגלישה הקודמת, לאחר שהם מגינים על הצוק מפני המשך גלישה. לפיכך, צוק שהוא תלול וגובה הנמצא בסמוך לשפת הים יהיה בעל סיכוי הרס גבוהים יותר ותכופים יותר מאשר שהוא תלול פחות, ו/או נמוך ו/או מצוי במרקם גדול מקו המים.

הפרמטרים שנקבעו בעבודה הנוכחיית, 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 (משלע), את סביבתו המיידית באזורי קו המים (טבלאות גידוד וסלע חופשי) ואת הים הסמוך לו (זרמים וגלים) לא נלקחו בחשבון בחישוב הנוכחי.

הדרך שבה נקבעו הינה על ידי הענקת ערכי הפרמטרים הללו לנקודות לאורך קו החוף (מרחק בין הנקודות 25 מטרים) בכל אוטם 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 אזוריים אחרים, ולשם כך נכתב מודול ברכיב ה-ArcGIS Model Builder. המידע היחיד שהווון למודול היה DEM של ישראל וממנו חושבו כל שאר הרבדים והפרמטרים שהובילו לייצרת מפת הסיכון הסופית. בנספח מס' 1 מתוארים שלבי החישוב והפעולות המתבצעות בכל שלבי המודול. איור 1 מציג הדגם מחלק החישוב עבור אזור מצומצם בסביבת מכון וינגייט.

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

המודל הטופוגרפי הדיגיטלי של ישראל מבוסס על המפות הטופוגרפיות, בקנה מידה 1:50,000, של המרכז למיפוי ישראל, והוא יוצר על ידי דרי גיון 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 אינטראפולציה מסוג Cubic Spline. המודל הדיגיטלי בניו משריך של תא מיידע (פיקסלים) המכxisים כל אחד שטח של 25X25 מטרים רבועים. כל תא בשציג מציג את הרום הטופוגרפי הממוצע של שטח התא. המודל הדיגיטלי מכסה את כל שטח מדינת ישראל (1600 תא מיידע לכל קמ"ר, סה"כ כ-50 מיליון 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 Über 80% מהנקודות הטבעיות בגובה הנהנה בתחום של עד 5 מטרים וüber 90% מהנקודות הטבעיות בגובה הנהנה בתחום של  $10 \pm$  מטרים. כאמור, זהו הרובד היחיד שהזון למודול וממנו חושבו שאר הרבדים והפרמטרים כפי שיפורט בהמשך.

### **3.2 קו חוף הים - קו גובה "אפס"**

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

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

### **3.3 אזור המחקר**

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

ממצאים ביןימים: שטח אזור המחקר כ-50 קמ"ר.

### **3.4 מודל שרייני המתאר את השיפוע הטופוגרפי**

על בסיס מודל הרום הטופוגרפי (DEM) חושב מודל השיפוע הטופוגרפי (איור b1). כל תא בשציג החדש מציג את השיפוע הממוצע (ביחידות של מעלות) בין מרכז התא ומרכז התאים הצמודים לו (8 תאים). לאחר שהחישוב מתבצע על המודל הטופוגרפי במרווח של 25 מטרים בין התאים, צפויים להתקבל ערכי שיפוע נוכנים מהמציאות. לדוגמה, צוק בגובה של 25 מטרים, גם אם יהיה בשיפוע העולה על 45 מעלות, ככלمر マーחק אופקי בין גגו לבסיסו קטן מ-25 מטרים, הפרש הגובה יתפזר במודל הטופוגרפי על פני שני תאים שכנים, שהマーחק ביניהם הוא 25 מטרים בדיק, וכן השיפוע המוחשב שבין שני התאים יהיה רק 45 מעלות.

ממצאים ביןימים: 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, תחומיים על ידי קו הקונטור של 9 מעלות בסיסים (המעבר מאזור החוף לתחילת הצוק) ובגטם (המעבר מהצוק לחלקו השטוח של הרכס). איור c 1 מציג חתך חוצה בניצב לקו רכס ואת ערכי הגובה והשיפוע לאורך החתך. התאמה טוביה נמצאה, בסדרה של חתכים דומים לאורך חופי הארץ, בין נקודות תחילת וסיום המטלול 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 d1).

ממצאי ביןים: 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 1a) שימש לחישוב השיפוע המרבי של הצוק בכל נקודה לאורך החוף. כל תאיל השrieg הנמצאים בהשקה לקו החוף נדגו ובעוצמת 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 הוועתק 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 מתאי המודל אל קו החוף הקרוב ביותר אליו. מתוך המודל החדש נדגו רק התאים שיש להם נקודת השקה עם קו בסיס הצוק. בעוצמת סטטיסטיקה המבוססת על תאים שכנים (Neighborhood Statistics) בוצעה הרחבה של ערכים אלו כלפי מערב, עד למרחק של 50 תאים (איור 1f), כך שערך המרחק הוועתק מערבה עד לקו החוף.

### **3.8 מודל שריגי המתאר את הרום הטופוגרפי של גג הצוק**

מ相处 המודל הטופוגרפי הדיגיטלי (DEM) נדגו כל התאים שיש להם השקה לקו גג הצוק. בעוצמת 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 הוועתק מערבה עד לקו החוף.

### **3.9 דוגמ מודל השיפוע המרבי, מודל המרחק ומודל הרום הטופוגרפי לאורך החוף**

על מנת לאפשר את ביצוע החישובים שיתוארו להלן נדגו לאורך קו החוף מספר רב של נקודות. הנקודות נדגו מרחק של 25 מטרים בין נקודה לנקודה (סה"כ 8960 נקודות). הנקודות נמצאות על קו החוף, אך רק ל-1772 מותכם נמצא ערך בתאי שלושת השriegים שנבנו (הרום גג הצוק, שיפוע מרבי ומרוחק מבסיס הצוק). הערכים מתאי השrieg השונים הועברו כפרמטרים לקובץ הנקודות.

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

איור 2 מציג את השתנות הערכים המדודים לאורך החוף מדרום לצפון. בוחינה 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 להתאמה בין המרחק שבין קו החוף לבסיס הצוק ובין שני הפרמטרים האחרים (גובה הצוק ושיפוע הצוק), אולם, ישנה דעיכה בגובה הצוק ובSHIPוע הצוק עם העליה במרחב מקו המים. ככלומר, הנקודות הגבוהות, הם בדרך כלל גם התלולים ביותר, והם מרכזים בעיקר באזורי הקרובים לקו המים.

### 3.10 חלוקה לקטגוריות של דרגות סיכון

קביעת דרגת הסיכון של קטעי החוף השונים התבססה על הערכים שנדרגו בשלושת המודלים בנקודות לאורך החוף. לאחר שנמצאה התאמה בין שיפוע הצוק לגובה הצוק, השתמשנו בקוו ההתחאה ביניהם (הקו האדום באירור 3a) לחלוקת אוסף הנקודות לשולש רמות של גובה-שיפוע. טווח הערכים של הפרמטר השלישי (מרחק בין קו המים לבסיס הצוק) חולק לשתי רמות כפי שמצוג באירור 3b. דרגות הסיכון קודדו על פי הנקודות הבאות:

רחוק מקו המים	קרוב לקו המים	
A2	A1	צוק גובה ותלול
B2	B1	צוק ממוצע
C2	C1	צוק נמוך ומ坦ן
D		לא צוק בקרבתו

בחולקה 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, ככלומר, האם צוק ממוצע רחוק מקו המים (B2) מסוכן יותר או מסוכן פחות מצוק נמוך ומ坦ן הנמצא צמוד לקו המים (C1)? כנ"ל לגבי היחס שבין A2 (צוק גובה ותלול רחוק מקו המים) ו-B1 (צוק ממוצע קרוב לקו המים). באירועים שבהם שולץ נטייחס לדרגות הסיכון לפי הסדר הבא: A1>A2>B1>B2>C1>C2 (>"גadol-m->") בנסיבות של "מסוכן יותר מ-".

נעשה ניסיון לחלק את אוסף הנקודות כך שכל חלוקה (חלוקת אחת עבור פרמטר המרחק, ושתי חלוקות עבור הפרמטר המשולב: גובה-שיפוע) תפצל את הנקודות לקבוצות דומות בגודלן. הנקודות הכהולים באירור 3a מסמנים את החלוקה לשולש הקבוצות (קוויים אלו הינם ניצבים לקו האדום, למרות שבגרף הם אינם נראים כך כתוצאה מההבדלים בסקללה של הציריים השונים), והקו האנכי באירור 3b מסמן את החציוון (לא כל הנקודות הנמצאות במרקח של אפס מטרים מקו המים, שהם כ-50% מהנקודות). בטליה הבהא מוצגים היחסים הכמותיים של כל אחת מהקבוצות ב-1772 הנקודות של אורך החוף:

סה"כ לקבוצה לפי הפרמטר "גובה-שיפוע"	רחוק מקו המים	קרוב לקו המים	
590 נקודות (33.3%)	41 נקודות (2.3%)	549 נקודות (31.0%)	צוק גובה ותלול
587 נקודות (33.1%)	240 נקודות (13.5%)	347 נקודות (19.6%)	צוק ממוצע
595 נקודות (33.6%)	144 נקודות (8.1%)	451 נקודות (25.5%)	צוק נמוך ומ坦ן
	425 נקודות (24%)	1347 נקודות (76%)	סה"כ לקבוצה לפי הפרמטר "מרקח מקו המים"

למרות שהחלוקת לפי מרחק מקו המים אינה שווה (76% מהנקודות קרובות לקו המים ו-24% רוחוקות מקו המים, יחס של 1:3), בקבוצה A כמות הנקודות הקרה לקו המים (A1) גדולה משמעותית (פי 13) מאשר 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 הערכיים שנדרגו בנקודות (גובה צוק, שיפוע צוק ומרחק מבסיס צוק) וכן דרגות הסיכון (A1 עד C2). לקטעי החוף שאין להם צוק מזורה הוענקה הדרגה D.

באיור 4 ניתנת הדוגמה לדרגות הסיכון בקטע החוף של "צוק השرون" (mbiyt-yanai בצפון ועד מדרום לעיר הרצליה). בקטע שבין הרצליה לנחל פולג רוב הצוקים בדרגות סיכון גבוהות (A) ומיעוטם בדרגת סיכון בינוני ומעט ללא הדרגה הנמוכה, בעוד שבקטע שבין נחל פולג לבית-yanai מחצית מאריך הצוק בדרגת הסיכון הגבוהה (A) ומהחצי בדרגה הבינונית (B), עם מספר קטעים בדרגה הנמוכה (C). רוב הקטע העירוני בנ庭יה מצוי אל מול צוקים בדרגות סיכון גבוהות או בינוניות, בעוד שרוב הקטעים המסוכנים למרחוב הרצליה-פולג נמצאים רוחק מאזורים עירוניים. על פי תוכנות החישוב המוצג כאן דרגת הסיכון לקטע החוף באזורי בית-yanai, המוכר היטב בשיח הציבורי והנמצא בדרך כלל בכותרות, הנה ביןונית בלבד (B1).

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

ממצאי ביןים : 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) ; 3.6 ק"מ ברמת סיכון C1 ; 3.6 ק"מ ברמת סיכון C2 (סה"כ 14.9 ק"מ ברמת הסיכון הנמוכה). שאר קו החוף (7 179.7 ק"מ) ללא סיכון כלל עקב היותו חוף ללא צוק סמוך.

## **פרק 4: דרגות הסיכון להרסט הצוק לאורך החוף**

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

### **א. ראש הנקרה - ראש הכרמל :**

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

**תוצאות שדה :** באזורי זה מרבית הצוקים עשויים סלעים כורכר מלודים היטב (תמונה 1) ולכן להערכתו קיימים סיכויים קלים (= רמת סיכון נמוכה) של נסיגת הצוק עקב גלישות וגידוד ימי.

**ב. ראש הכרמל - נחל אלכסנדר :**

**תוצאות החישוב :** מתוך מספר קטעי ה策וק המבודדים, מרביתם ברמת סיכון נמוכה, מספר קטיעים ברמת סיכון בינוני (כפר גלים, תל קרעה, תל סחר, מצודת עתלית, עתיקות קיסרית, קרית השכלת בחוף גבעת אולגה ותל גדור) ושני קטיעים ברמת סיכון גבוהה (תל קרעה ותל גדור). **תצפית שדה :** גם לאורך קטע חוף זה ה策וקים עשויים סלעי כורכר מסיבי המלוכד היטב ולכו בעל סיכומי גישה והרס נמוכים. מדרום לקיסרית ה策וקים מציגים חילופי מסלע (כורכר וחמרה). במקומות, בצד דרום לקו המים, מופיעות גבעות מורמות כדוגמת תל קרעה, קרית ההשכלת בחוף אולגה ותל גדור (תמונה 2), שם התפתחו策וקים גבוהים ותלולים הנמצאים בדרגת סיכון גבוהה יותר.

**ג. נחל פולג - נחל אלכסנדר :**

**תוצאות החישוב :** 78% מאורך החוף בקטע זה הנהו מוצקי (כ-11.9 ק"מ של策וק מותך כ-2.2 ק"מ של קו חוף). למרות שקטע זה מהווה רק 7% מאורך החוף הכלול (מראש הנקרה ועד גבול עזה), נמצאים בו כ-27% מכלל ה策וקים של החוף הים תיכוני. לאורך קטע זה יש 5.9 ק"מ של策וקים בדרגות הסיכון הגבוהות (A1 ו-A2), 5.5 ק"מ בדרגות הסיכון הבינוניות (B1 ו-B2), 0.5-1 ק"מ בדרגות הסיכון הנמוכות (C1 ו-C2). כ-40% מה策וקים, לאורך כל החוף, שבדרגת הסיכון הגבוהה (A1) מצויים בקטע זה. הקטיעים המסוכנים ביותר הנם: בצפון נתניה - אזור שושנת העמקים וחוף מלון ארבע העונות (אייר 4, איזור 5 ותמונה 3), ובדרום נתניה שני קטיעים רצופים ארכויים. לפי החישוב המוצע כאן ה策וקים של אורך חוף בית-ינאי (תמונה 4) הנם בדרגת סיכון בינוניית בלבד (אייר 4 ואיזור 5).

**תצפית שדה :** לאורך רוב הקטע יש התאמה טוביה בין תוצאות החישובים והחלוקת לדרגות סיכון, כפי שפורסם באיזור 4 ובאייר 5, ובין התצפיות שנערכו בשדה (תמונה 4). לאורך מספר קטיעים מצפון לננתניה, שם התקבלה דרגת סיכון בינוני, נצפו גישות רבות, כולל גם בדרגת הסיכון הבינוני B1 קיימים קטעי策וק בסכנת התמוטטות. קטע策וק באזורי בית-ינאי נמוך יותר (כ-24 מטרים מעלה הים) ופחות תלול מקטע策וק העיר נתניה (גובה כ-40 מטרים מעלה הים), וכן התקבל עבورو בחישובים דרגת סיכון בינונית בלבד.

**ד. נחל פולג ועד נחל הירקון :**

**תוצאות החישוב :** קרוב ל-21 ק"מ של חוף, מתוכם כ-14.8 ק"מ של策וק (70% מאורך החוף). למרות שקטע זה מהווה רק 9% מאורך החוף הכלול, מצויים בו 33% מה策וקים של אורך החוף. לאורך החוף יש 8.5 ק"מ של策וק בדרגות הסיכון הגבוהות (A1 ו-A2), 5.0 ק"מ בדרגות הסיכון הבינוניות (B1 ו-B2), 1.3 ק"מ בדרגות הסיכון הנמוכות (C1 ו-C2). לעומת זאת, מעל 57% מה策וקים, לאורך כל החוף, שבדרגת הסיכון הגבוהה (תל ארסף; תמונה 5), מורכב בעיקר策וקים בדרגות הסיכון הבינוניות. החוף שמדרום לאפולוניה (תל ארסף; תמונה 5), מורכב בעיקר策וקים בדרגת סיכון בינוני וنمוכה, בעוד שמצפון לאפולוניה (תמונה 6) ב-79% מקו החוף מצוי策וק ברמת סיכון גבוהה וב-16% מצוי策וק ברמת סיכון בינוני. בקטע זה רוב ה策וקים ברמות הסיכון הבינוניות והגובהות אין מצויות קרוב לאזורים עירוניים. מצפון לחוף תל-ברוך מצויים שלושה קטעי策וק ברמת סיכון גבוהה.

**תצליות שדה :** יש התאמה טובה בין תוצאות החישובים והחלוקת לדרגות סיכון בקטע חוף זה, כפי ש�示 באירור 4 ובאייר 5, ובין התצליות שנערכו בשדה (תמונה 5, 6), אך גם כאן קטעי צוק בדרגת סיכון בינונית (B1) מראים סימני גלישה מרוביים ועדות להרס מתמשך.

#### **ה. נחל הירקון ועד לנחל שורך :**

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

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

#### **ו. בין נחל שורך לנחל לכיש :**

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

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

#### **ז. בין נחל לכיש לאשקלון :**

**תוצאות החישוב :** מספר קטעי צוק קצריים עם דרגות סיכון נמוכה ובינונית.

**תצליות שדה :** לאורך קטע זה לא נצפו בעבודת השדה צוקים הנמצאים בתהליכי הרס מוגברים.

#### **ח. בין אשקלון עד גבול רצועת עזה :**

**תוצאות החישוב :** בעיקר קטעים ברמת סיכון נמוכה ובינונית וקטיע אחד עם דרגת סיכון בינונית באזורי הגן הלאומי תל אשקלון.

**תצליות שדה :** לאורך כל התל באשקלון נצפו תהליכי הרס מוגברים ומתרחש שם הרס של חומרה הארכיאולוגי (תמונה 8). מדרום לאשקלון נצפו קטעי צוק נמוכים הנמצאים בתהליכי הרס מוגברים, כנראה בגל המ chassis הנוצר בתקנת הכוח רוטנברג ומכלול קצא"א.

לsicום, 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 ומחשובות להמשך**

הקריטריונים שנקבעו לדירוג רמות הסיכון (מרחק בין חוף לבסיס הצוק, גובה הצוק, ותיליות 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 ובהתאם 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 בוודאי טובות ומדויקות יותר מזו המוצגת כאן, אך התמונה הכללית כנראה לא תהיה שונה מזו שהתקבלה בעבודה הנוכחית.

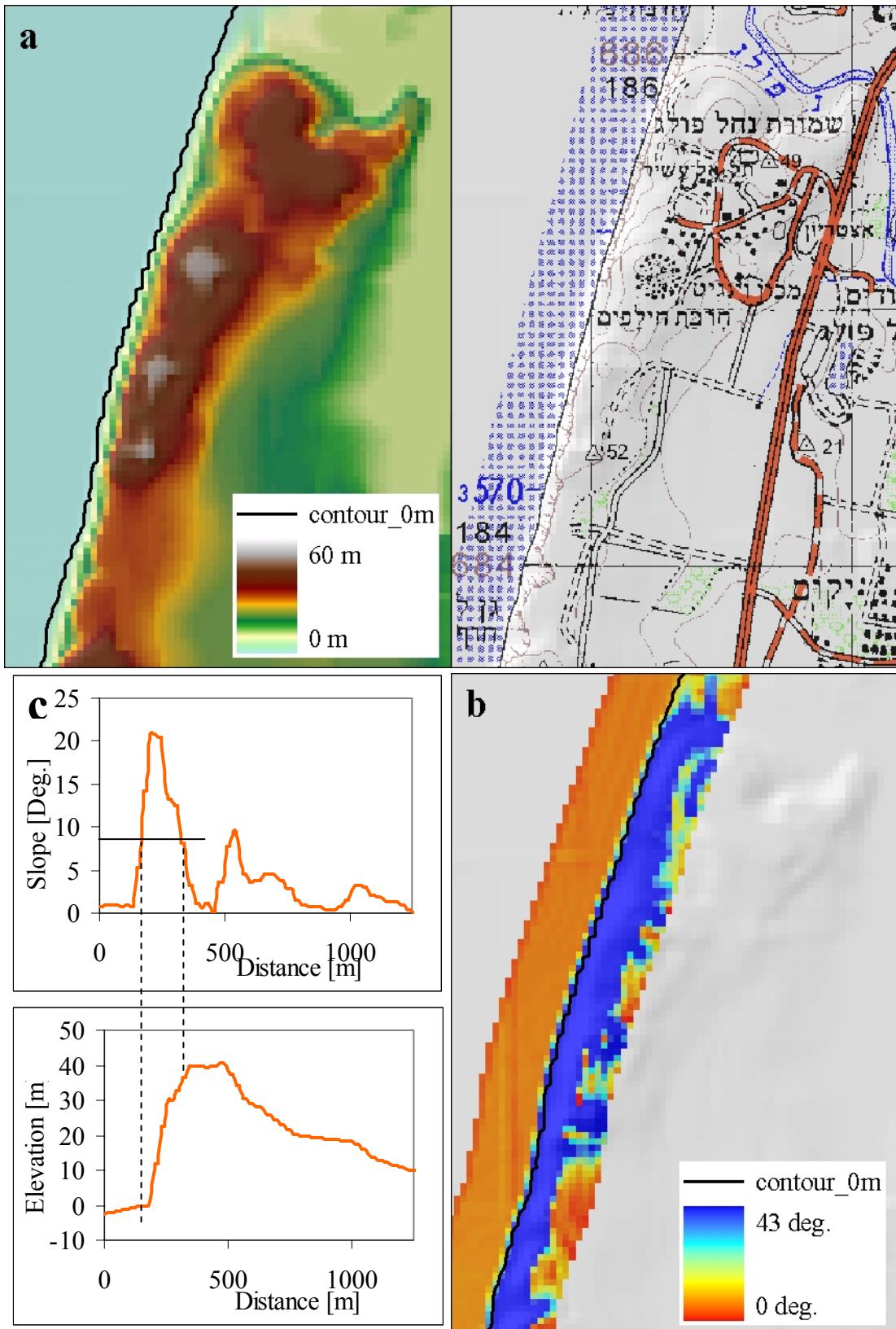
aicoot הtoutzach, המוצגת במפה שבאיור 5 והמשמעות הנובעת ממנה צרייכים להישקל לאחר שלוחקים בחשבו את מקור המידע לחישוב ואתaicoot. המודל הטופוגרפי הדיגיטלי ברזולוציה של 25 מטרים אינו מאפשר דיווק במקום בסיס ווג הצוק, ברום הטופוגרפי המרבי ובהגדרת השיפוע, לאחר שברוב הרכס רוחב הצוק אינו עולה על שני תאי שrieg (פיקסלים) של המודל. רצוי לחשב מפת סיכון על בסיס מודל טופוגרפי ברזולוציה טובה יותר. במרכז למיפוי ישראל (מפניי) קיימים מודל טופוגרפי דיגיטלי (DEM), Model Builder-DEM, ברזולוציה של כל 4 מטרים. המשגרת שהוצאה כאן יכולה לשמש, יחד עם המודול שנכתב ב-Model Builder, להערכת חוזרת של החישוב, בהתבסס על ה-DEM המפורט (4 מטרים).

השוואת דרגות הסיכון שהתקבלו במפת התוצר והשוואה להרס הקיים והmortach לאורך החוף, כפי שנמצפה בעבודת השטח, מראה התאמה טובה.

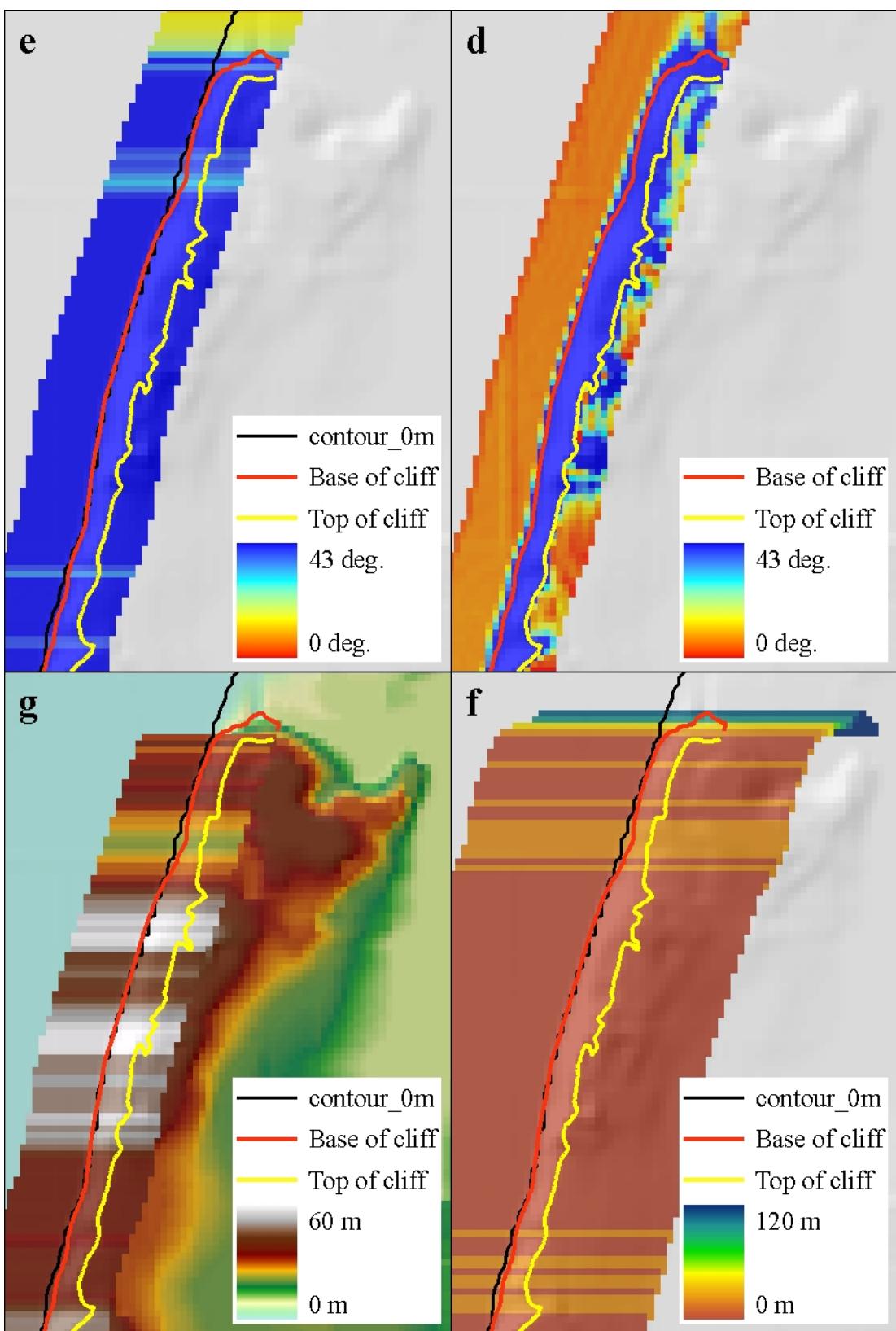
## מקורות

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

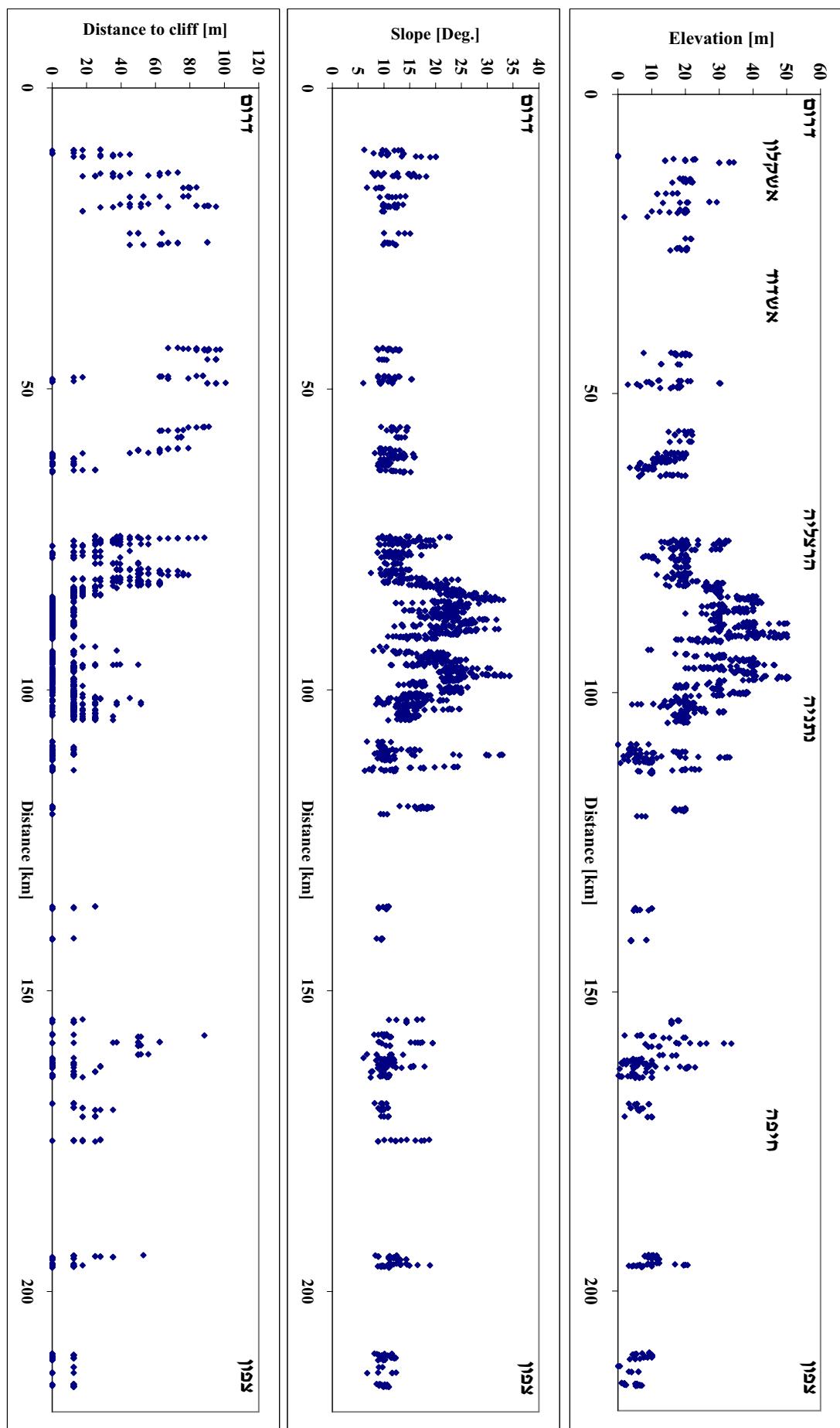
Hall, J. K., 1997, Landforms of Israel and adjacent areas, 1:500,000 scale. Geological Survey of Israel.  
 Hall, J. K., Weinberger, R., Marco, S., and Steinitz, G., 1999, Test of the accuracy of the DEM of Israel. Geological Survey of Israel, Report TR-GSI/1/99, 16 p.



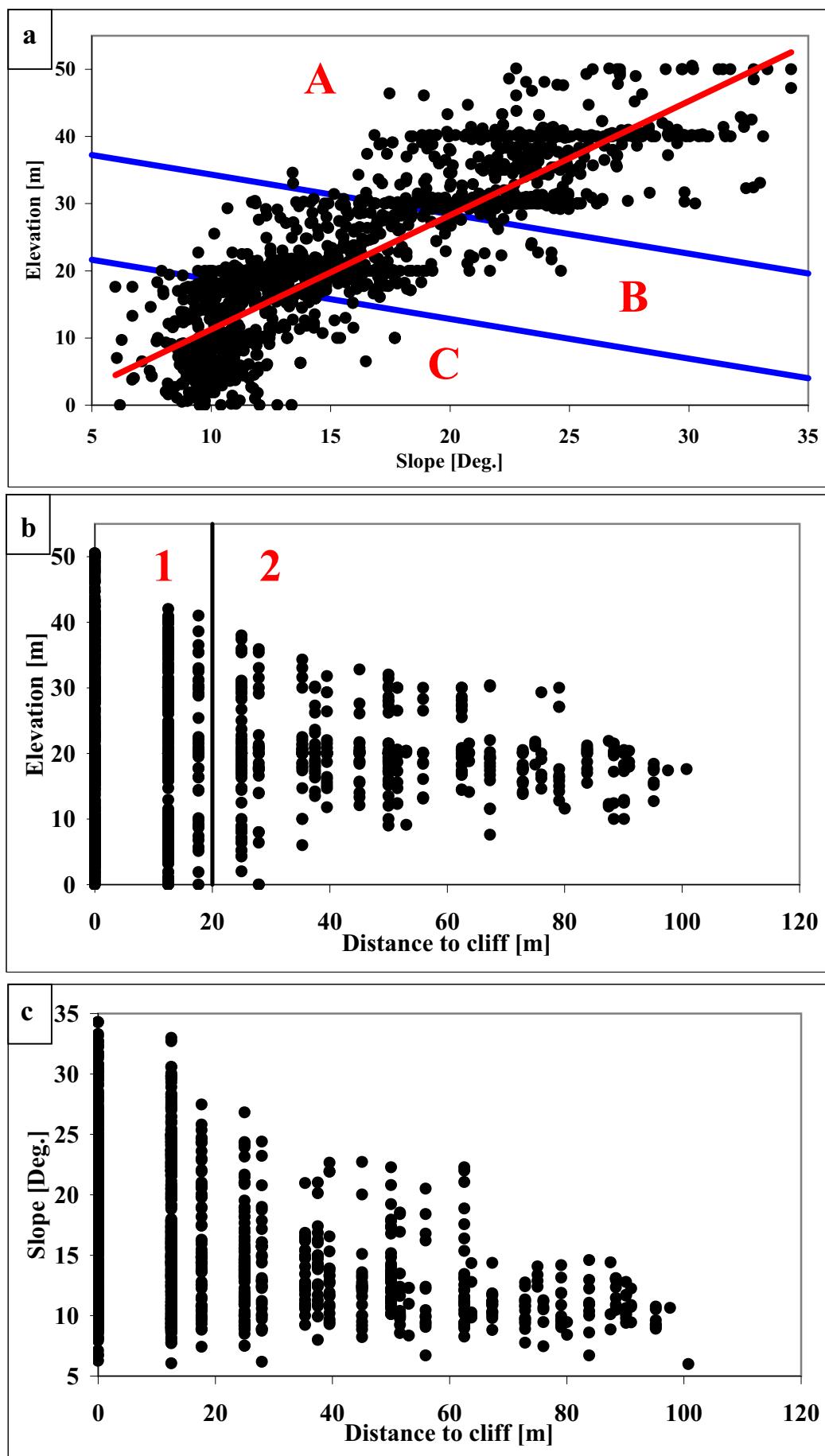
איור 1 : שלבים בהרצת המודול, הדוגמה מאזור מכון וינגייט. (a) מודל טופוגרפי דיגיטלי וקו גובה "אפס" ; (b) מודל השיפועים ; (c) חתך טופוגרפי וחתך שיפוע בזוק מכון וינגייט.



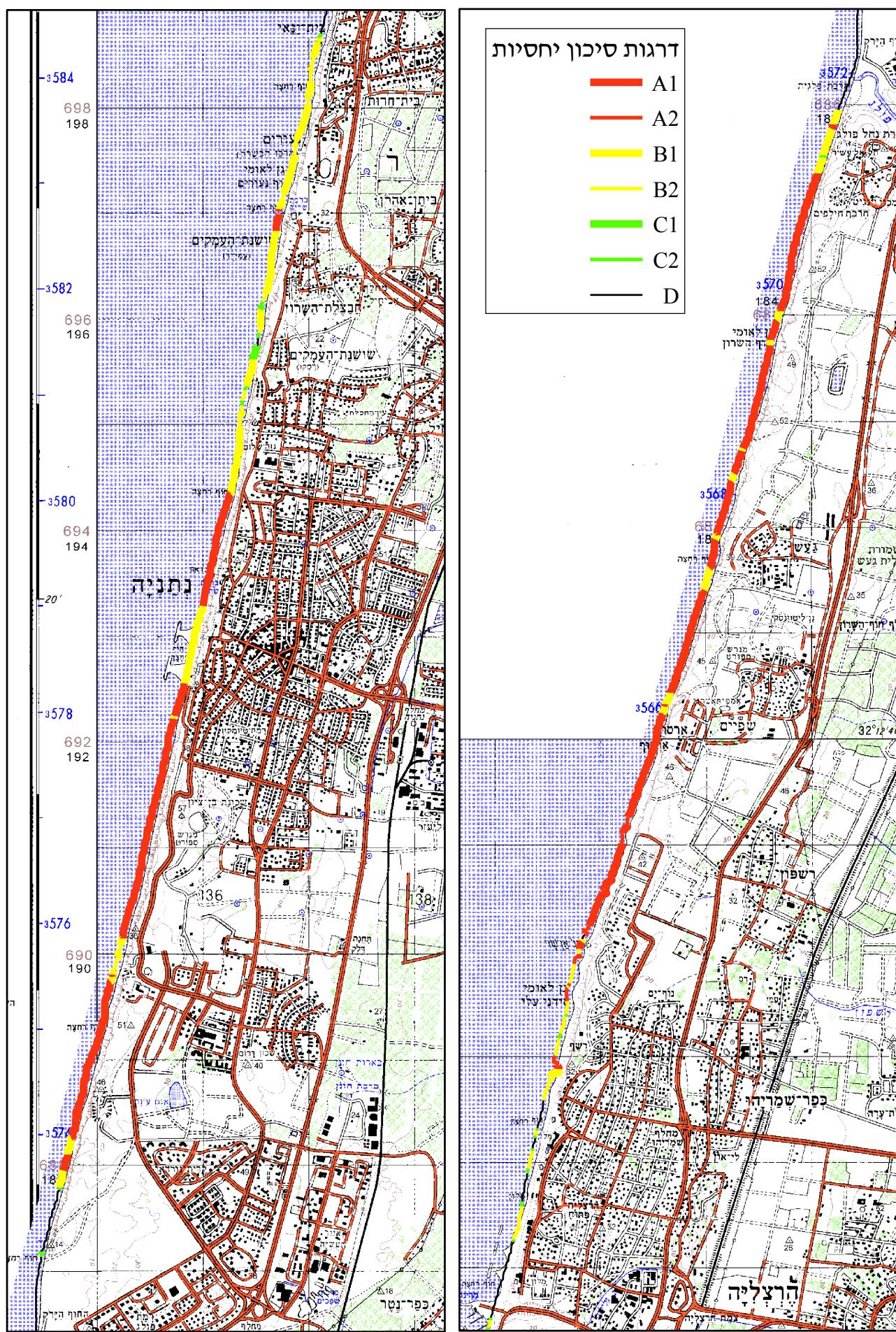
איור 1 (המשך) : (d) גג ובסיס הצוק על רקע מודל השיפועים ; (e) העתקה מעורבה של ערכי השיפוע המרבי בצוק ; (f) העתקה מעורבה של ערכי המרחק בין קו החוף לבסיס הצוק ; (g) העתקה מעורבה של ערכי גובה גג הצוק .



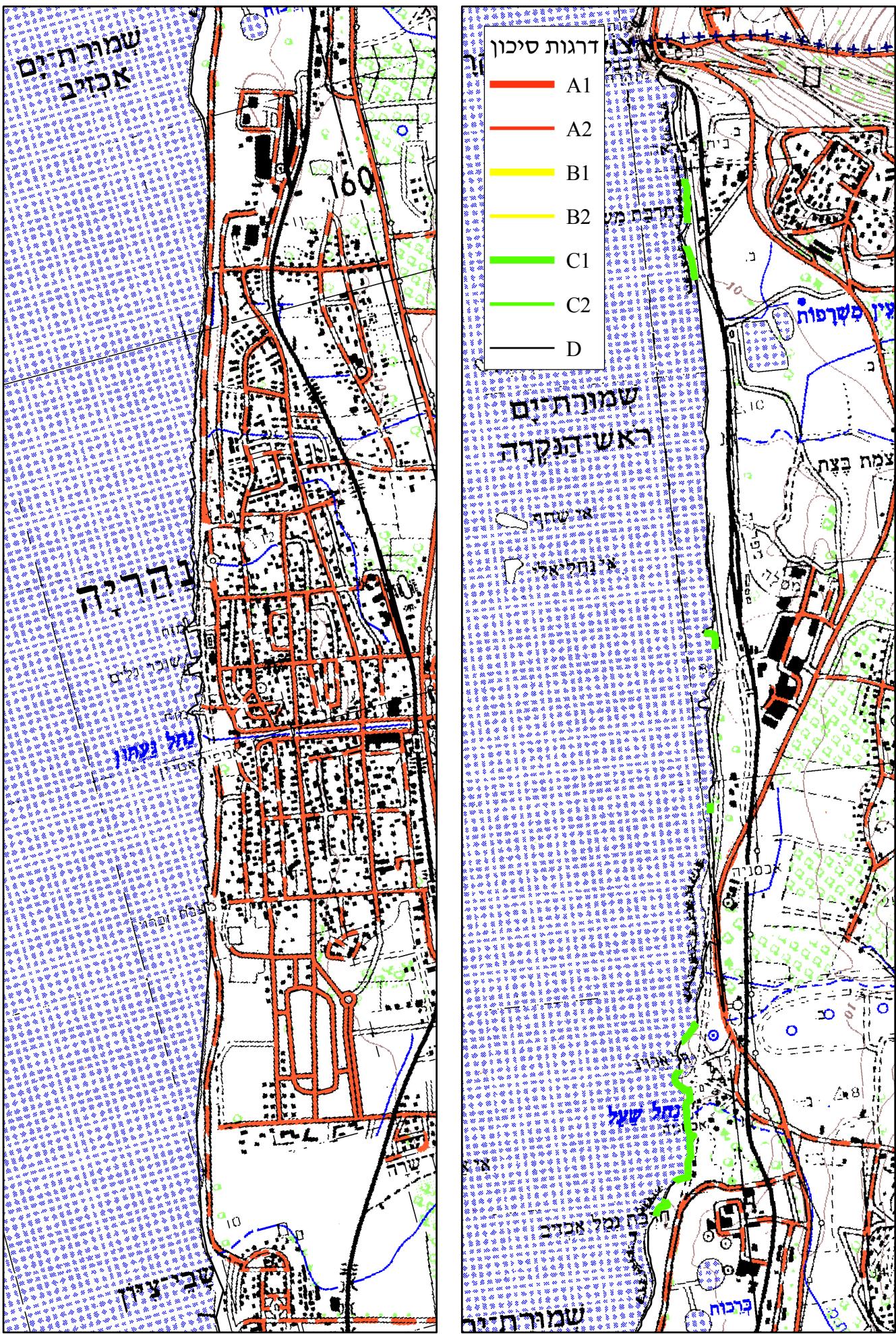
אייר 2 : ערכי גובה הצוק, השיפוע המרבי והמרחק לculo ההורע עבור נקודות מידע לאורך התווך הים-תיכוני.



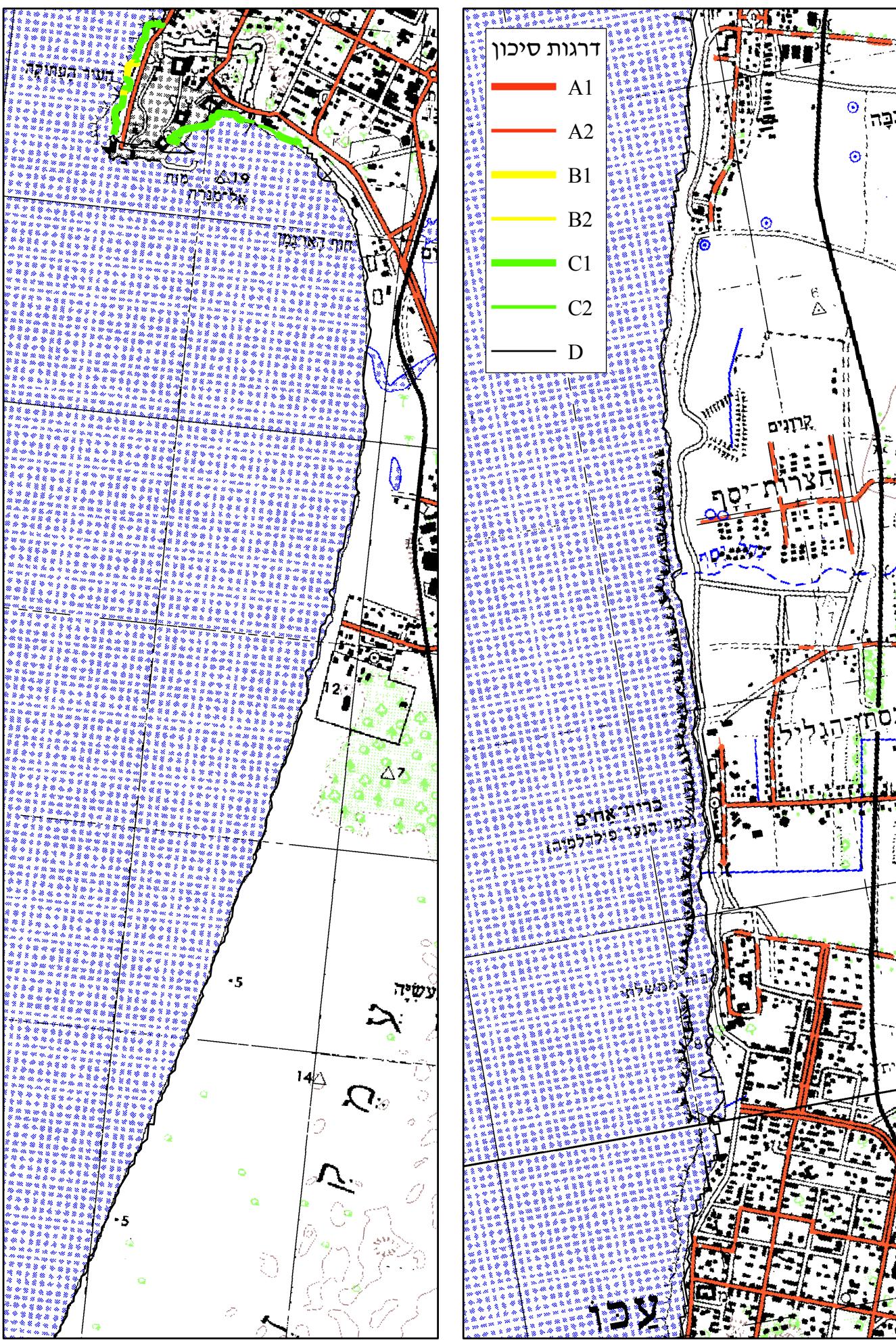
איור 3 : יחס גובה הצוק, שיפוע הצוק ומרחק הצוק מקו החוף עבור נקודות המידע לאורך החוף הים-תיכוני והחלוקה לקטגוריות המשנה (C2 עד A1).



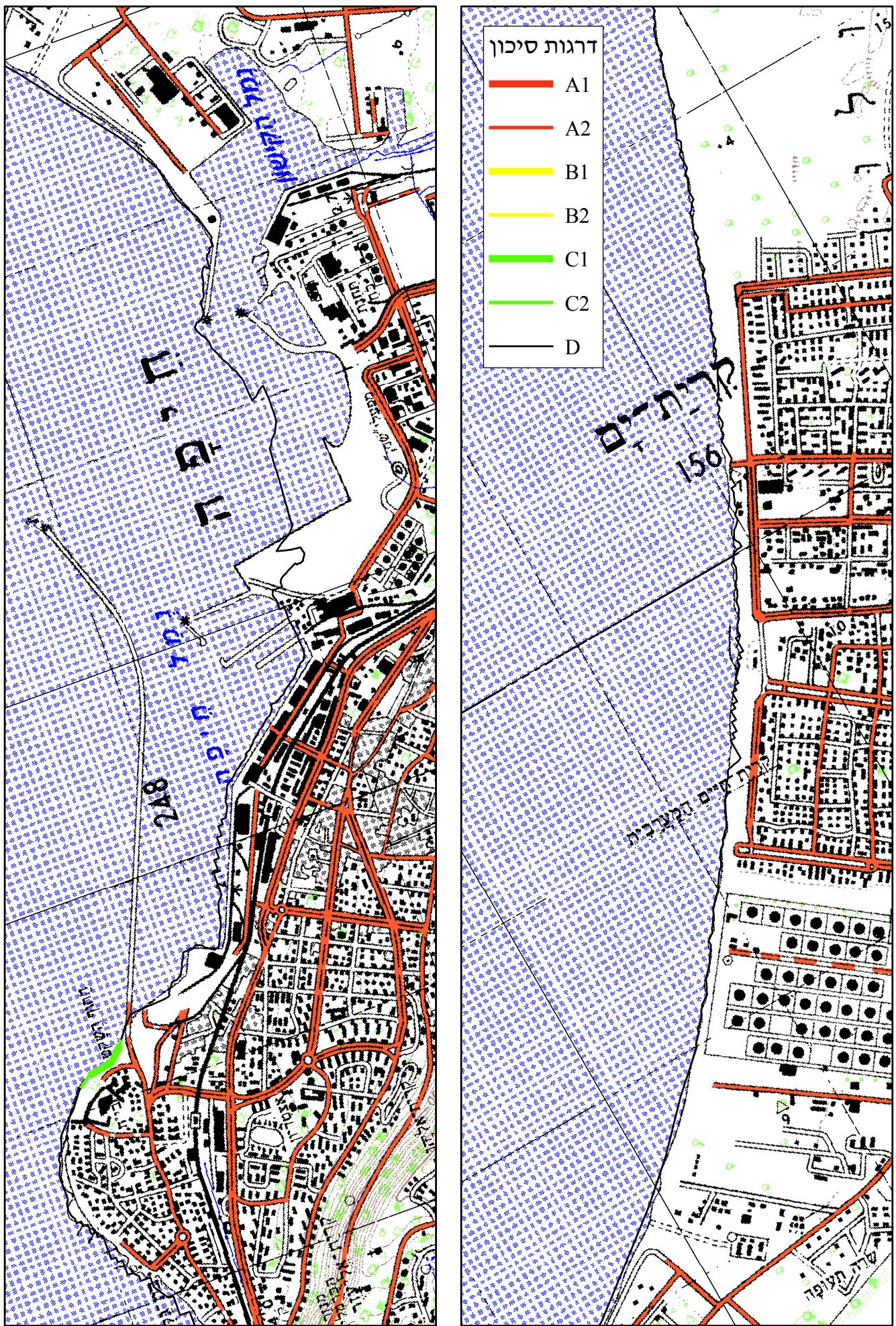
איור 4 : מפת הסיכוןים בקטע "זוק השרון" (נתניה - הרצליה).



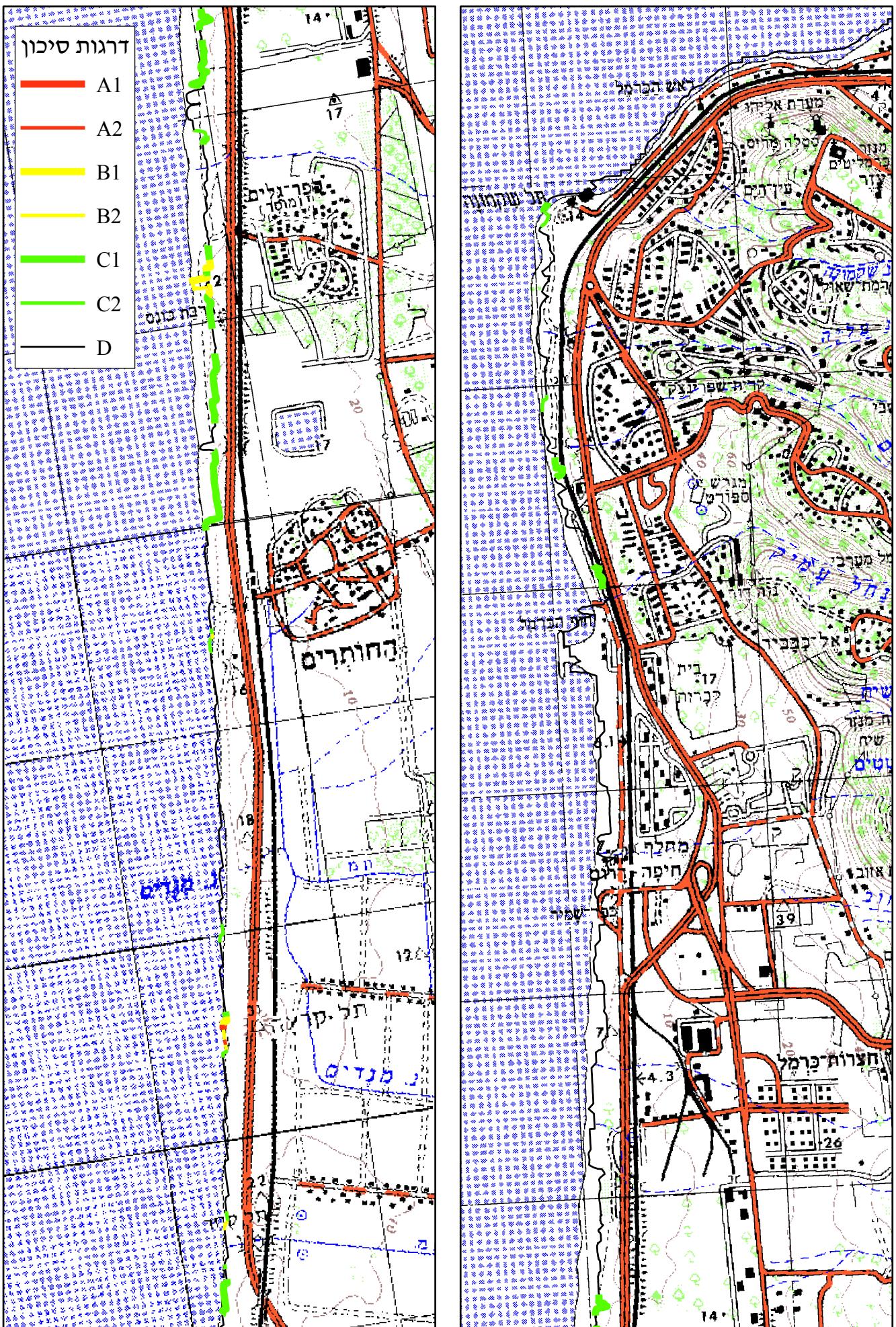
איור 5 : מפתח סיכוןים לאורך החוף הים תיכוני.



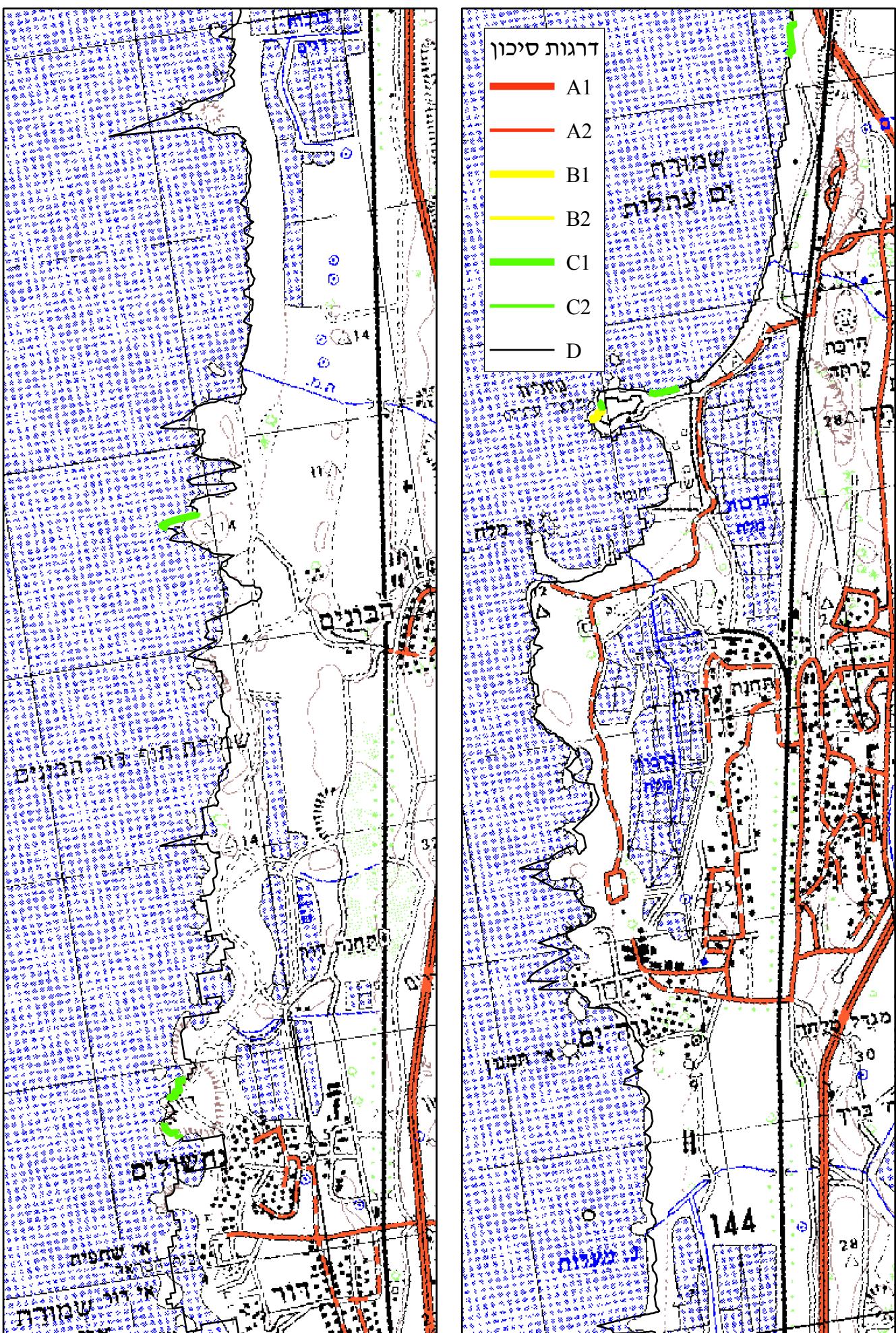
**איור 5 : מפת סיכוןים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).**



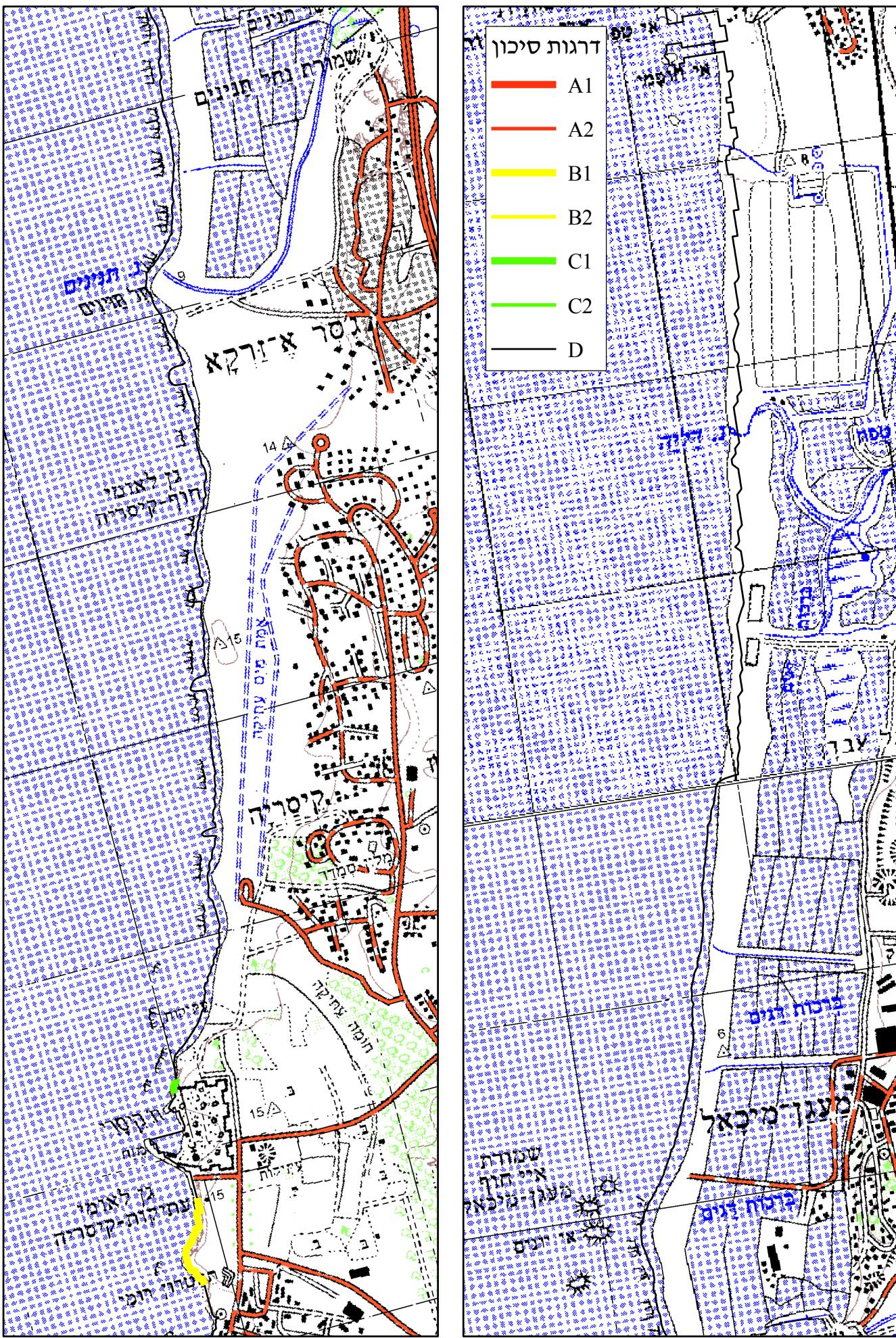
אורך 5: מפת סיקונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



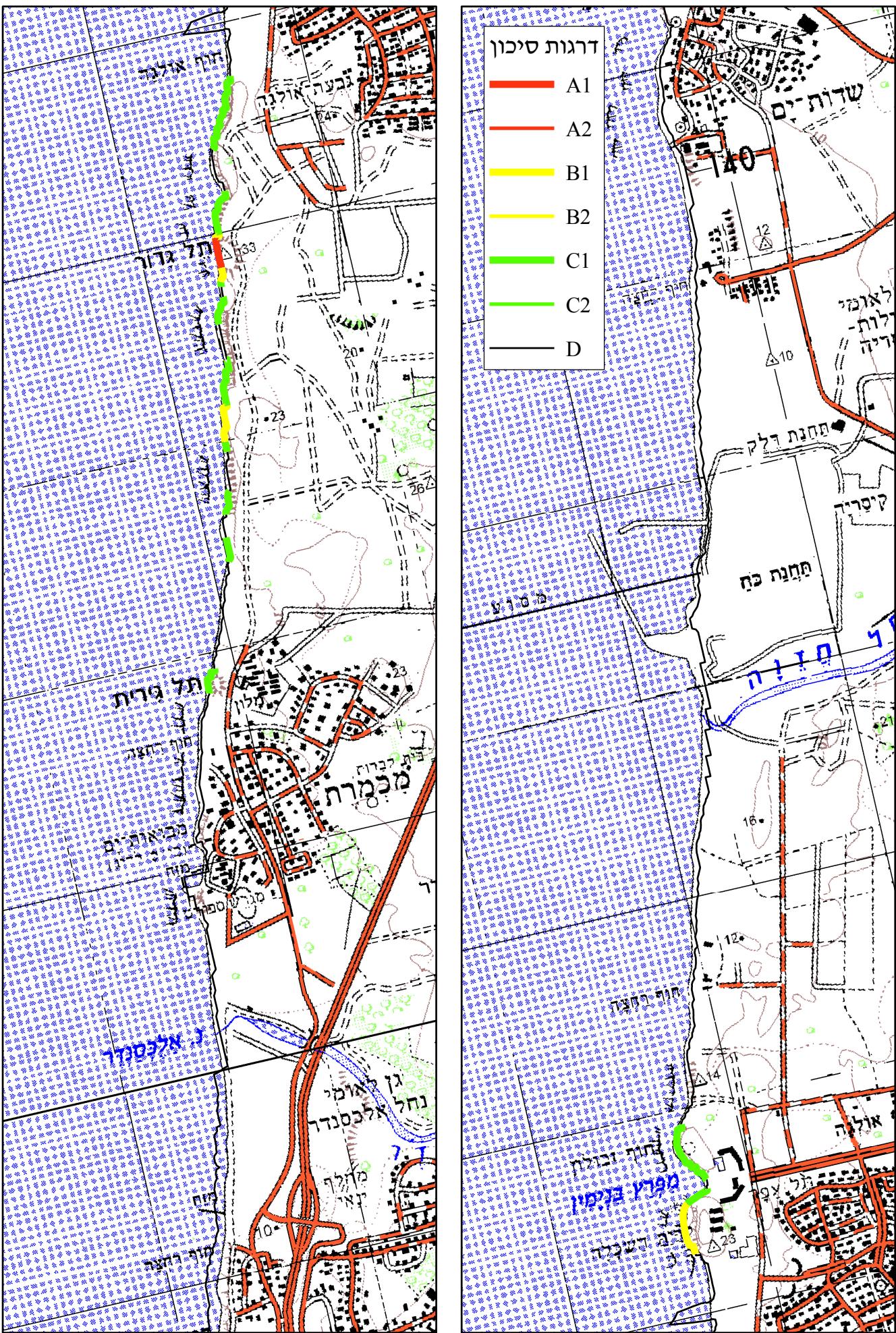
**איור 5 : מפתח סיכוןים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).**



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



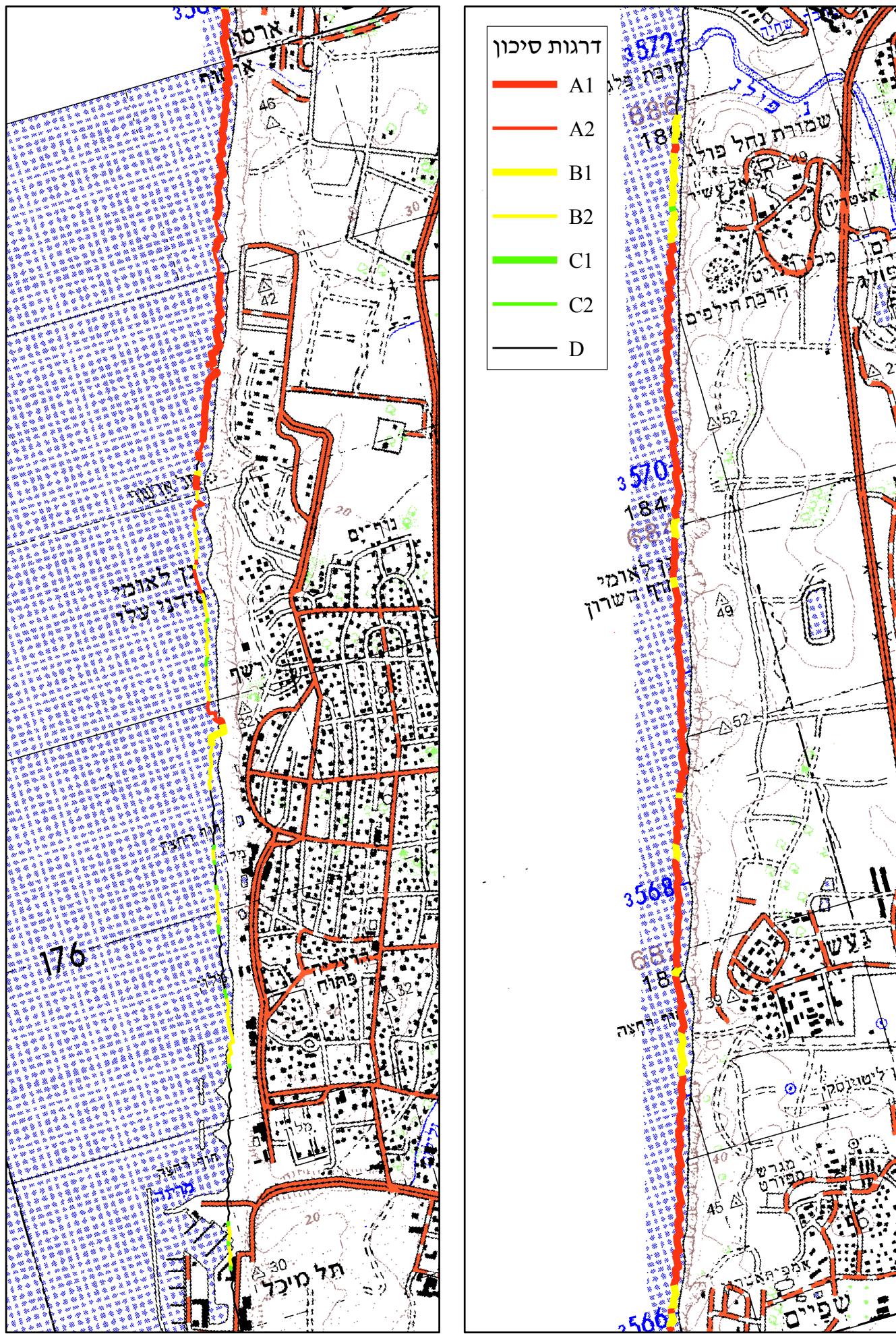
**איור 5 : מפת סיכוןים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).**



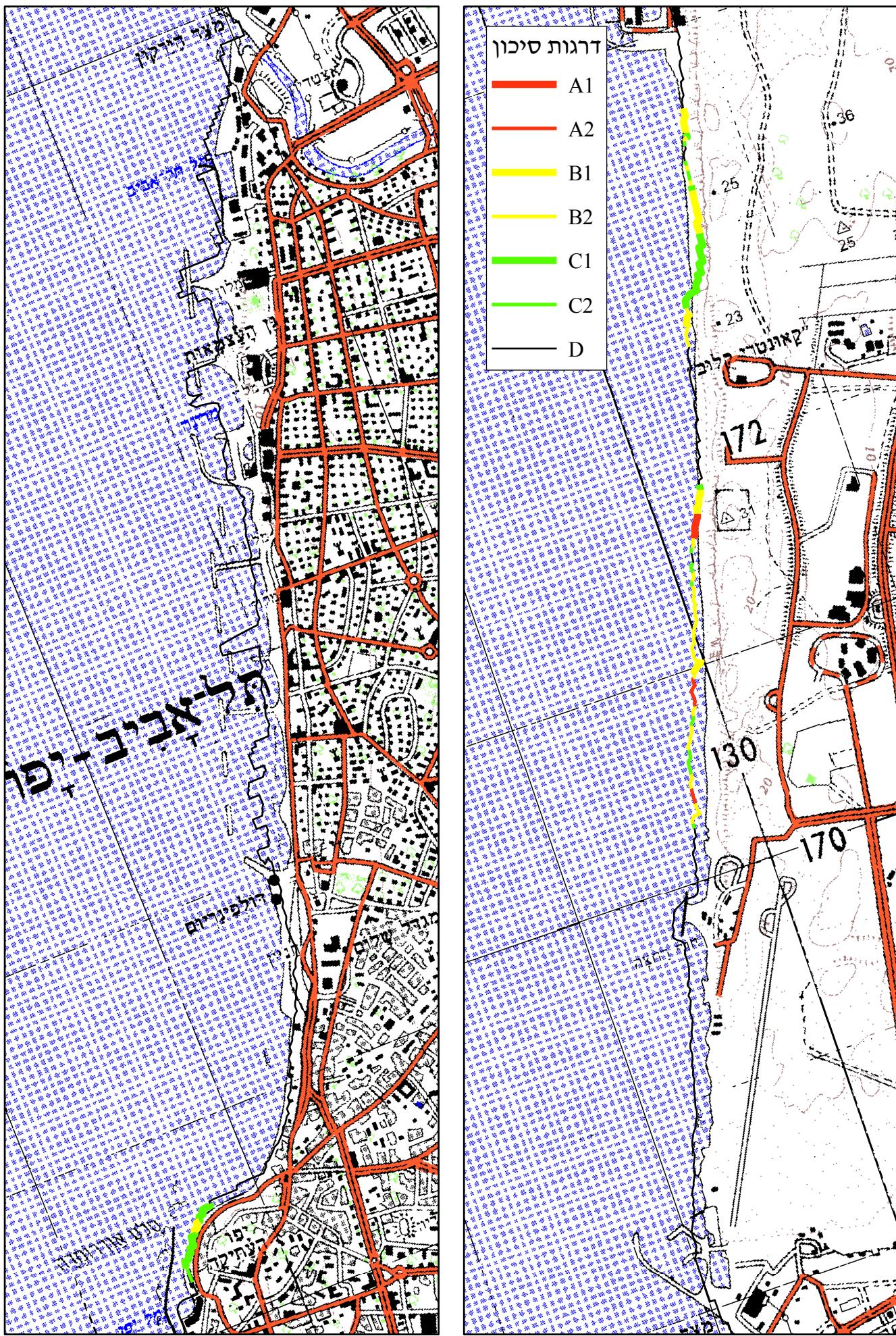
**איור 5 : מפת סיכוןים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).**



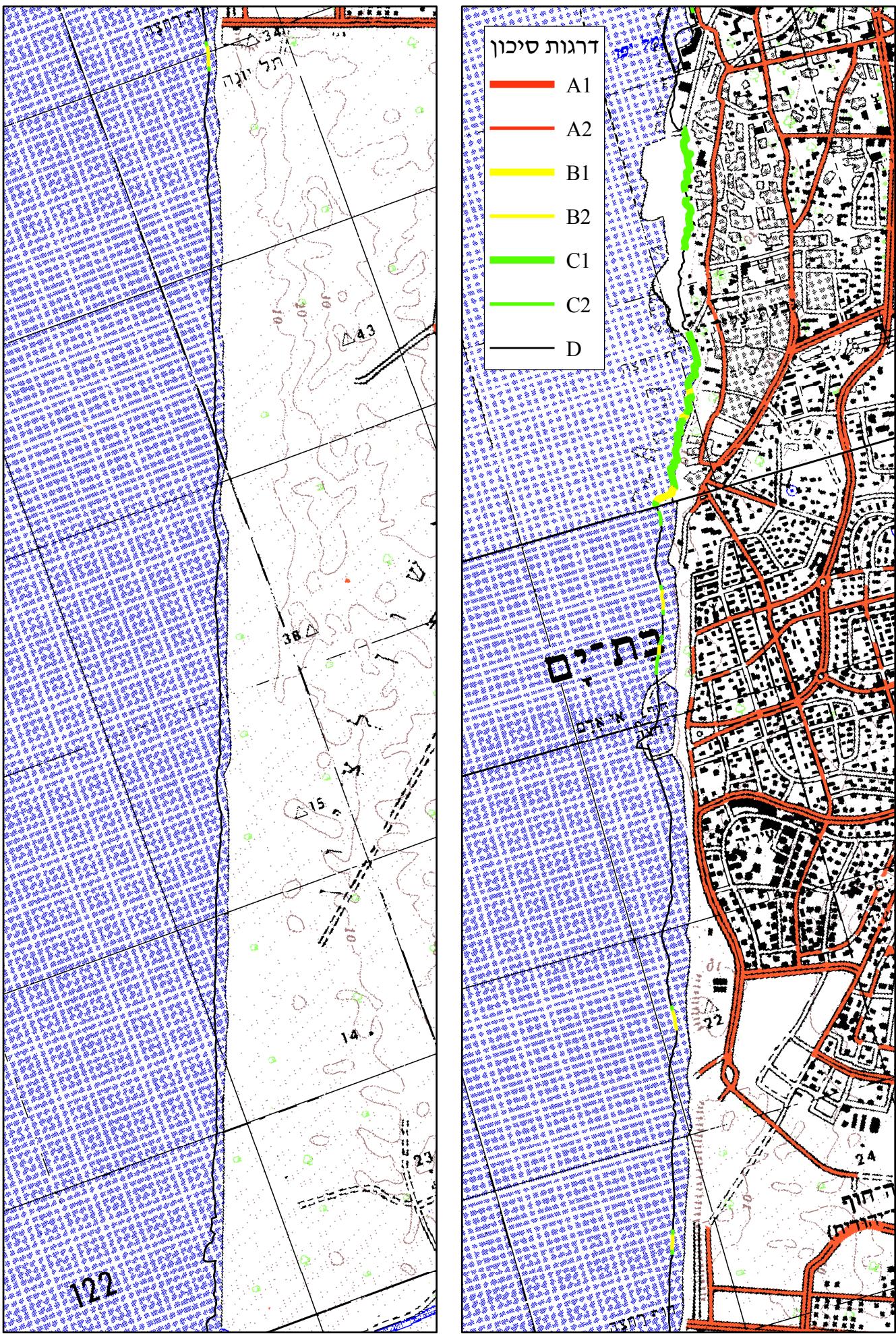
**איור 5 : מפת סיכוןים לאורך החוף הים תיכוני (המשק).**



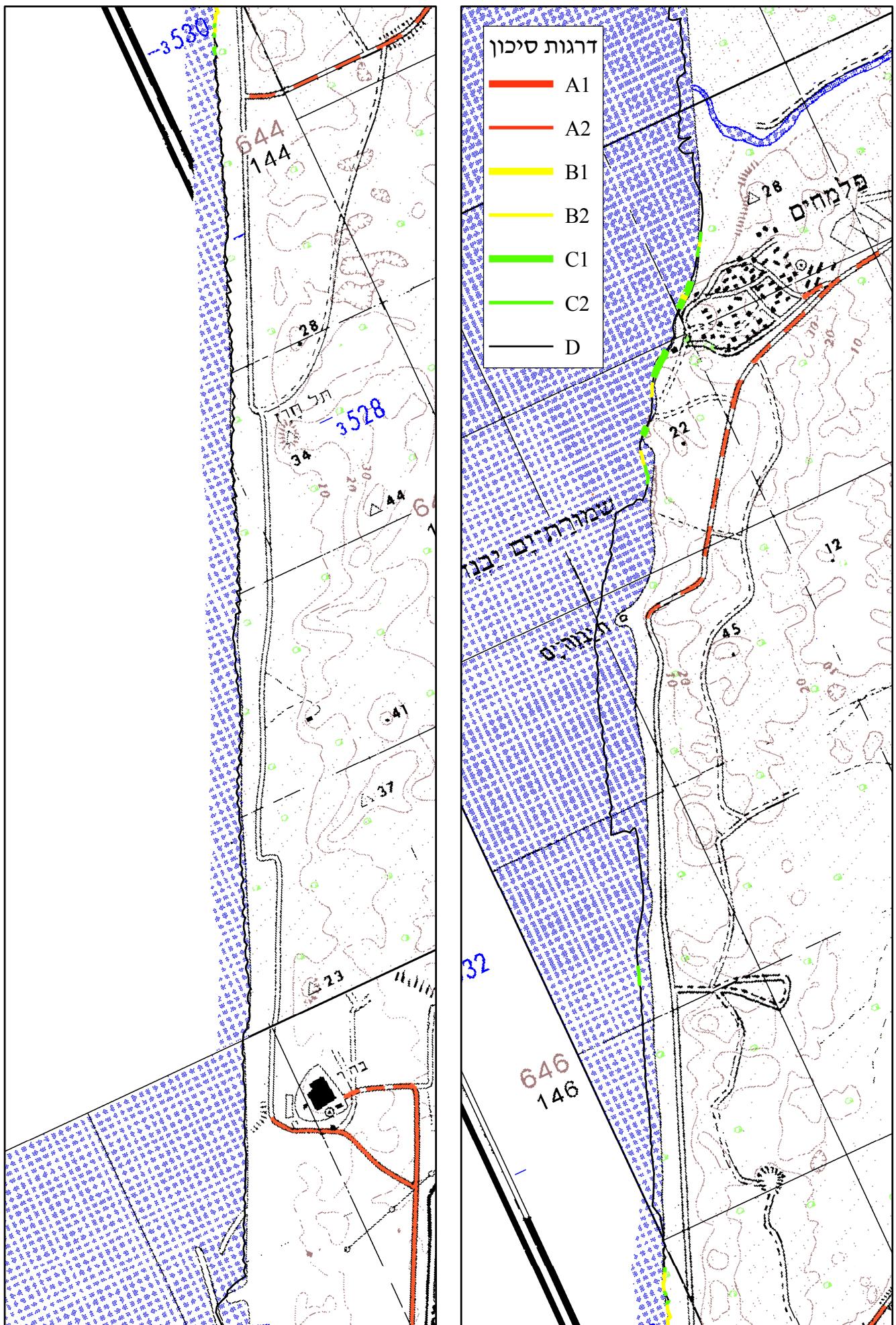
אורך 5: מפת סיכון לאורך החוף הים תיכוני (המש).



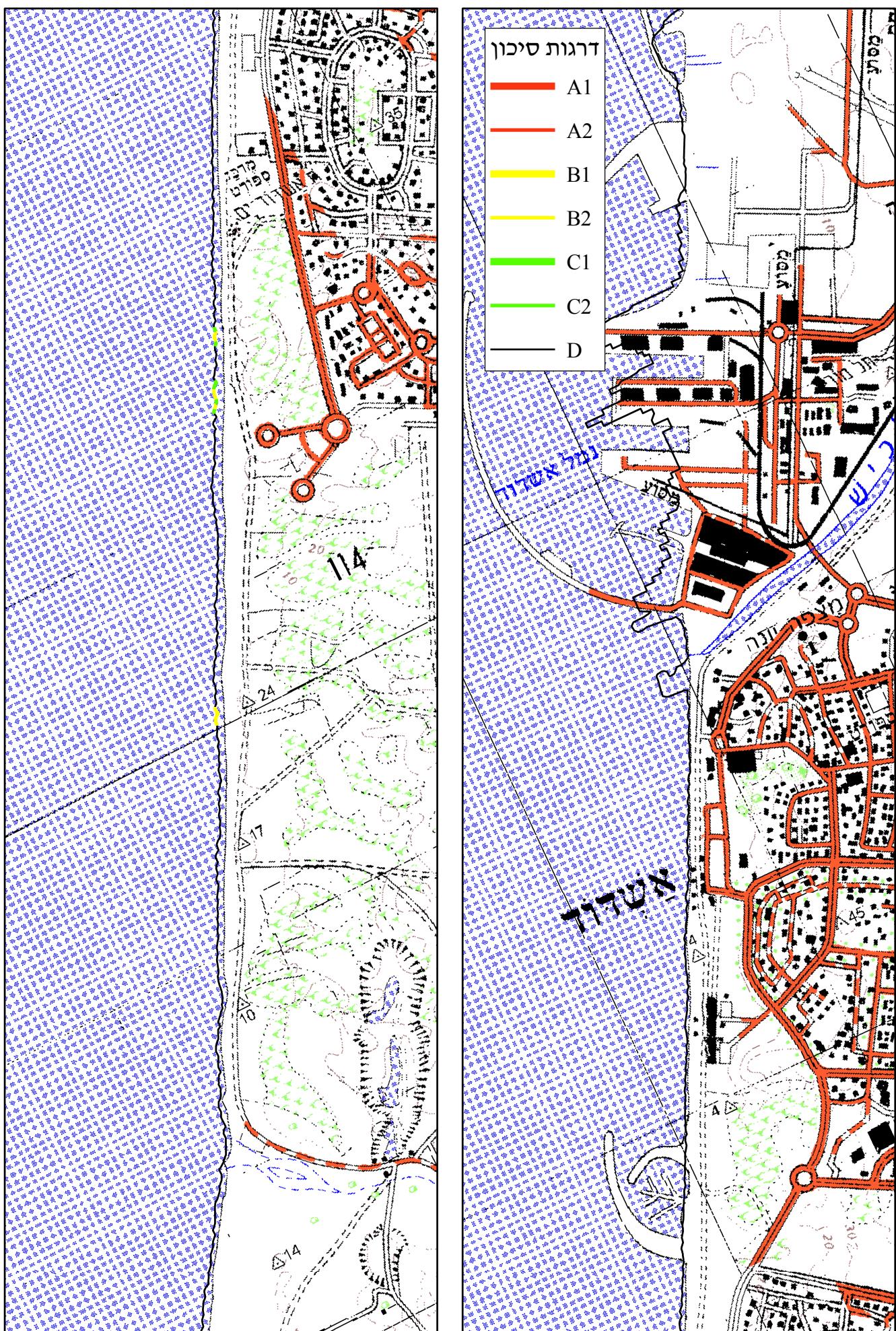
איור 5 : מפת סיקונים לאורך החוף הים תיכוני (המשך).



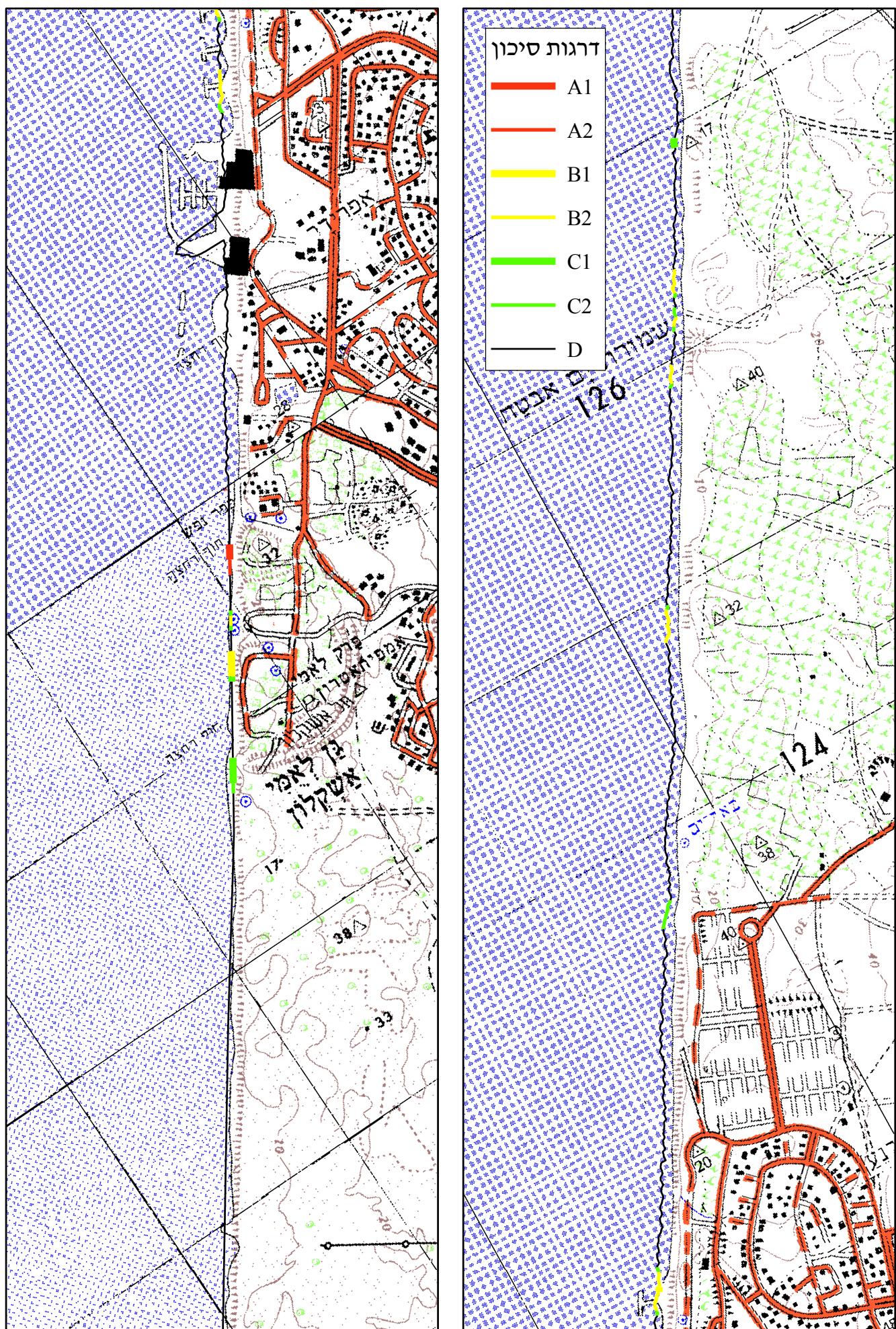
איור 5 : מפת סיכון לארך החוף הים תיכוני (המשך).



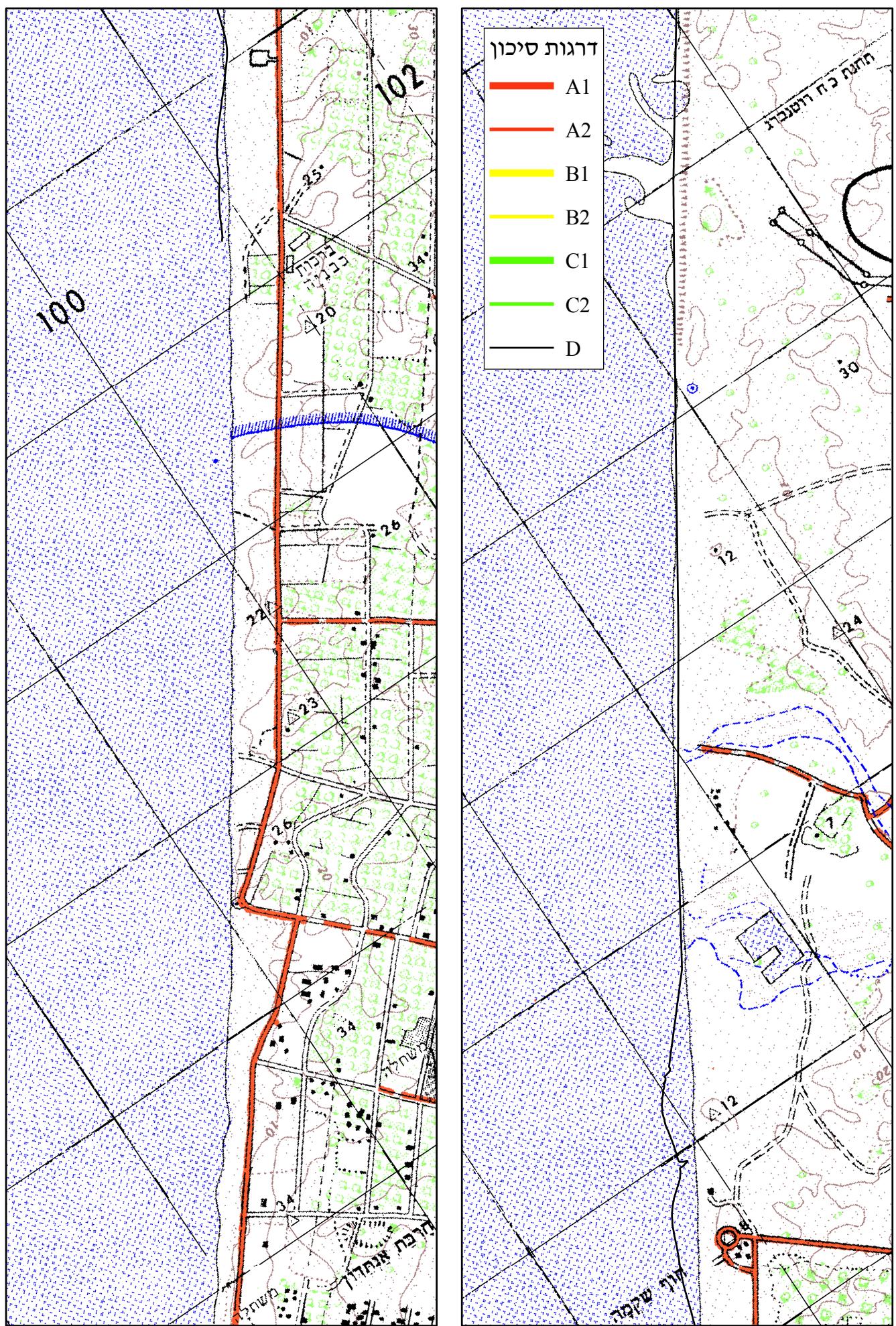
איור 5: מפת סיכוןים לאורך החוף הים תיכוני (המשק).



אורך 5 : מפת סיקונים לאורך החוף הים תיכוני (המש).



איור 5: מפת סיקונים לאורק החוף הימי תיכוני (המשך).



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



1



2



3



4



5



6



7



8

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 שפירים) ; תמונה 7 : חוף פלמחים ; תמונה 8 : חוף אשקלון מתחת לתל העתיק של אשקלון .

## נספח

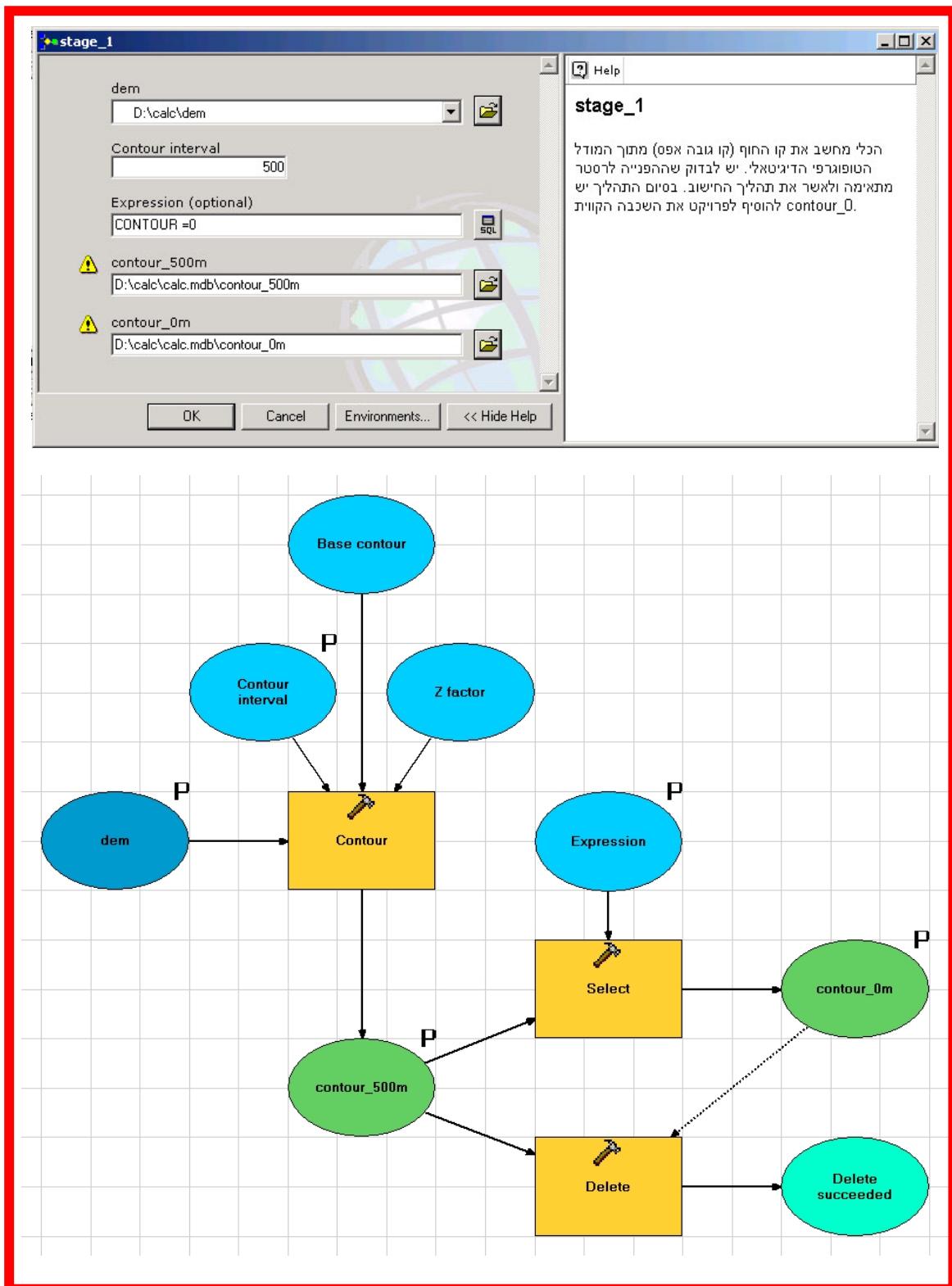
### חישוב דרגות הסיכון היחסיות לאורץ צוק החוף הים-תיקוני: ישום בכלי GIS.

- א. דרישות המערכת: ArcGIS גרסה 9.1 ומעלה, ברמת ArcView ומעלה, ומחייב הפעלה של העזר XTools Spatial Analyst. לצורך ביצוע מספר פעולות נעשה שימוש בעזר EasyProfiler וכן בעזר Pro (ניתנים להורדה חינם באתר [arcscripts.esri.com](http://arcscripts.esri.com)).  
 הצעה למכון D במחשבכם את התקינה calc המצויה באתר <ftp://ftp.gsi.gov.il/calvo>.
- ב. העבירו לתיקייה זו, באמצעות ArcCatalog, את המודל הטופוגרפי (DEM) של אזור המחקר. יש לשמור את המודל הטופוגרפי תחת השם DEM.
- ג. פתחו, באמצעות ArcMap, את הפרויקט בשם Hofim\_risks המצויה בתיקייה.
- ד. הפעילו את חלון ArcToolbox והביאו לתוכו (על ידי פועלות Add Toolbox) את ה-toolbox בשם Hofim\_tool הנמצא בתיקייה calc.
- ה. הפעילו את המודול Stage\_1 המצוין ב-tool Hofim. המודול יוצר קווי גובה על בסיס המודל הטופוגרפי המקורי, ובוחר מתוכם את קו גובה "אפס". בסיום התהליך נוספת לפרויקט שכבה קוית בשם 0\_contour. שכבה זו מכילה, מעבר לקו החוף, הרבהAAD "זבל" אותו יש לנוקות. יש לפתח את השכבה לעירכה. לבחור את הקו הארוך ביותר, שהוא בדרך כלל קו החוף, ולמחוק את כל השאר. יש לבצע שמירה וסגירת העירכה.
- ו. הפעילו את המודול Stage\_2 לחישוב אזור העבודה ומיקום גג ובסיס הצוק. המודול 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. המודול מוסיף לשכבה שדה בשם type ומעניק לה מסגרת עבודה על פי דומין שהוגדר מראש (מכיל שתי קטגוריות: גג צוק ובסיס צוק). בסיום התהליך נוספת לפרויקט שכבה קוית בשם bott\_top. שכבה זו מכילה את קווי הצוק (גג ובסיס). יש לקדד תחת השכבה לעירכה ולהתוך את הקווים בחלק הצפוני ביותר של כל קו כך שהבסיס והגג יופרדו. ניתן בשלב זה למחוק קווים שבטלחה את היחסות המתאימה (Base of cliff או Top of cliff). מיותרים שאינם מייצגים את צוק החוף. אפשר להיעזר באורתופוטו לשם השוואה עם השטח.
- ז. הפעילו את המודול Stage\_3 לחישוב המודלים השירותיים 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 בעורתו את הנקודות, במרחב המתאים לוולוציית הרستر הבסיסי (25 מטרים במקרה הנוכחי), לאורץ קו החוף (contour\_0) על גבי שלושת הרסטרים שנוצרו (max\_slope ,max\_elev ,dis2bott). בסיום התהליך מתקבלים שלושה קבועים וקטוריים - נקודתיים, אותם יש לאחד (join table) על בסיס הערך המשותף (מרחק הנקודה מתחילת הקו .all\_point). שמרו תחת השם distance.
- י. חשבו את החלוקה לדרגות הסיכון של כל אחד מהפרמטרים שנמדדו. ניתן להשתמש בכמה קבועות שרצים ובאיזה שיטת חלוקה שרצים (לפי טווח, לפי כמות נקודות, טבעי וכיו', לפי שמו פיעם בחלוקת הקטגוריות ב-symbology). תנו ציון לכל נקודה לפי מיקומה בקבוצות החלוקה.

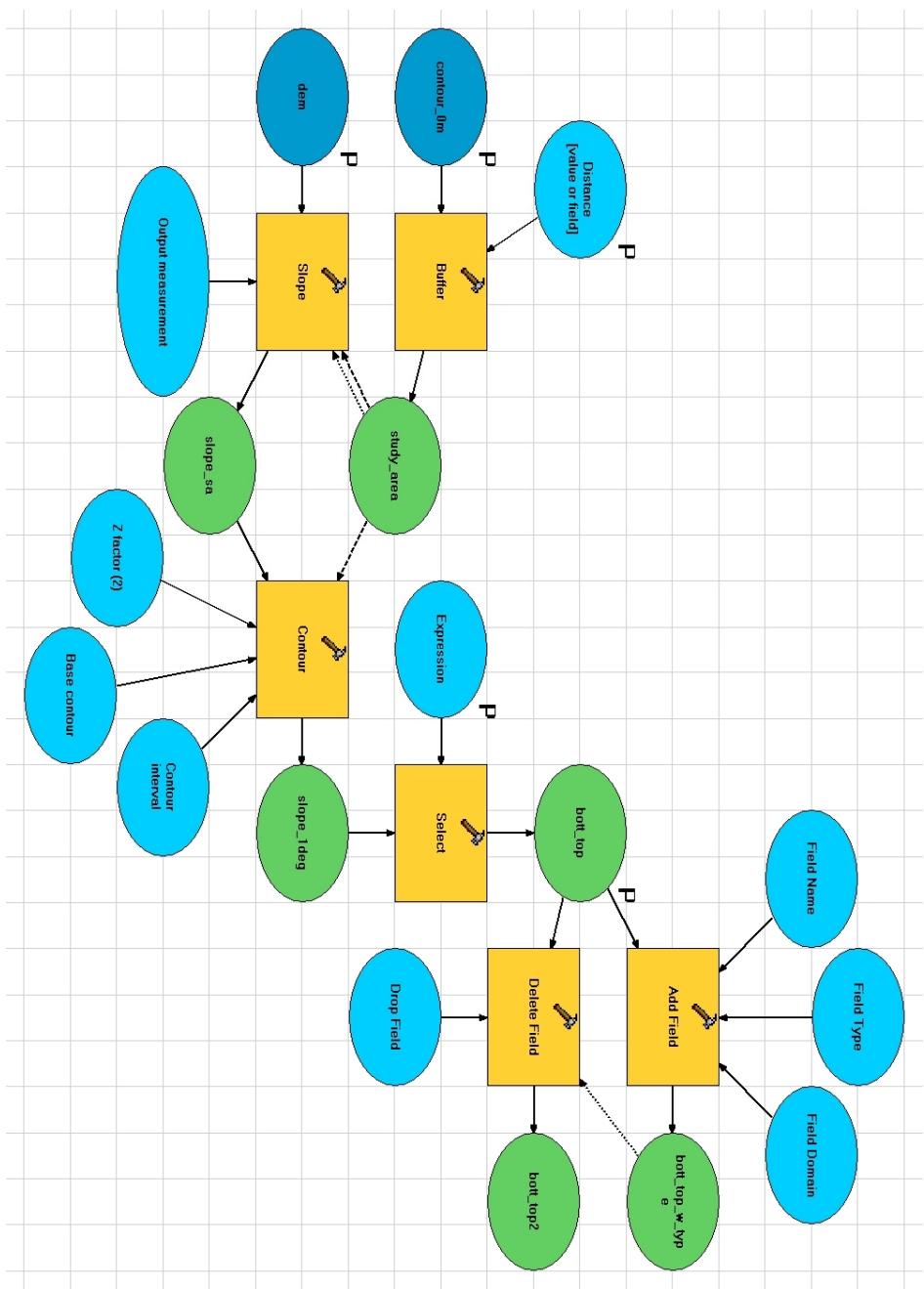
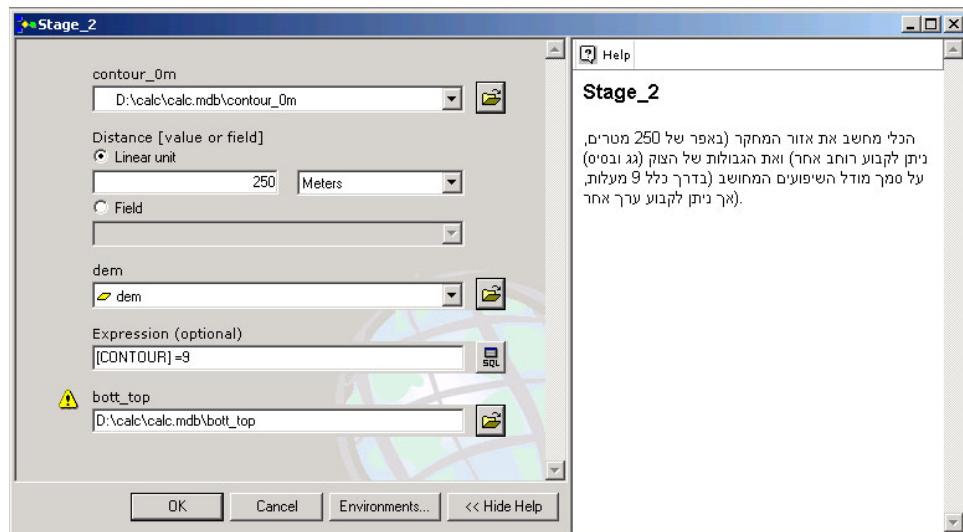
- יא. השתמשו בעזר XTools Pro לחלוקת קו החוף (contour\_0) למקטעים באורך של מחצית מהמרחקים בין הנקודות (12.5 מטרים במקרה הנוכחי). שמרו תחת שם `line_split`.
- יב. צרו פעולה Join, על בסיס סמיוכות מרוחבית, בין שכבת הנקודות (all\_point) ושכבת הקווים המקוטעים (line\_split), כך שכל המידע המצו依 בקובץ הנקודות יועבר לקובץ מקטעי הקווים. כל הקווים מקבלים את ערכי הנקודות שאינם ב מגע ישיר עימם וופיעו עם ערך distance גדול מאוד.
- יג. השתמשו בפעולה dissolve לאיחוד הקטעים בעלי אותה דרגת סיכון הצמודים זה לזה.
- יד. זהה. קיבלתם קו חוף מקוטע שלכל אחד ממקטעיו יש מאפיין המציין את דרגת הסיכון שלו רכו.

הקוד לביצוע כל הפעולות הנו פתוח ונמצא בתוך הכליל Hofim Tool. ניתן, במידה הצורך, לשנותו לצרכי העבודהכם. הערות או שאלות ניתן להפנות לרון קלבו בדוא"ל [rani.calvo@gsi.gov.il](mailto:rani.calvo@gsi.gov.il)

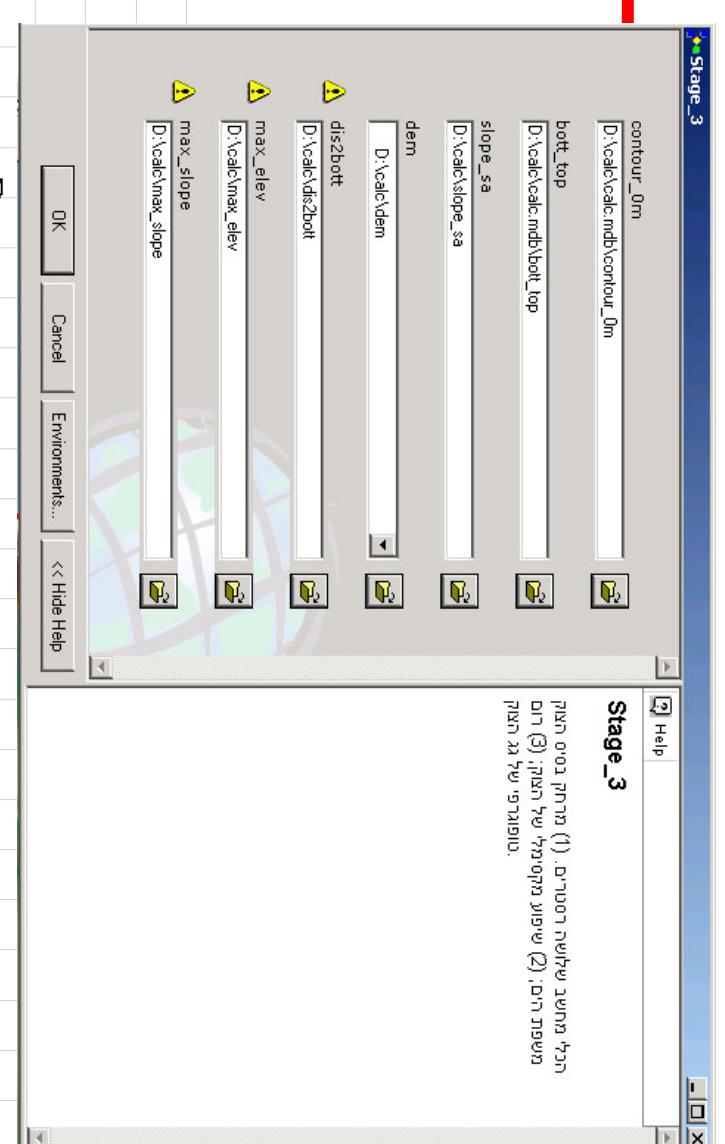
## Stage\_1



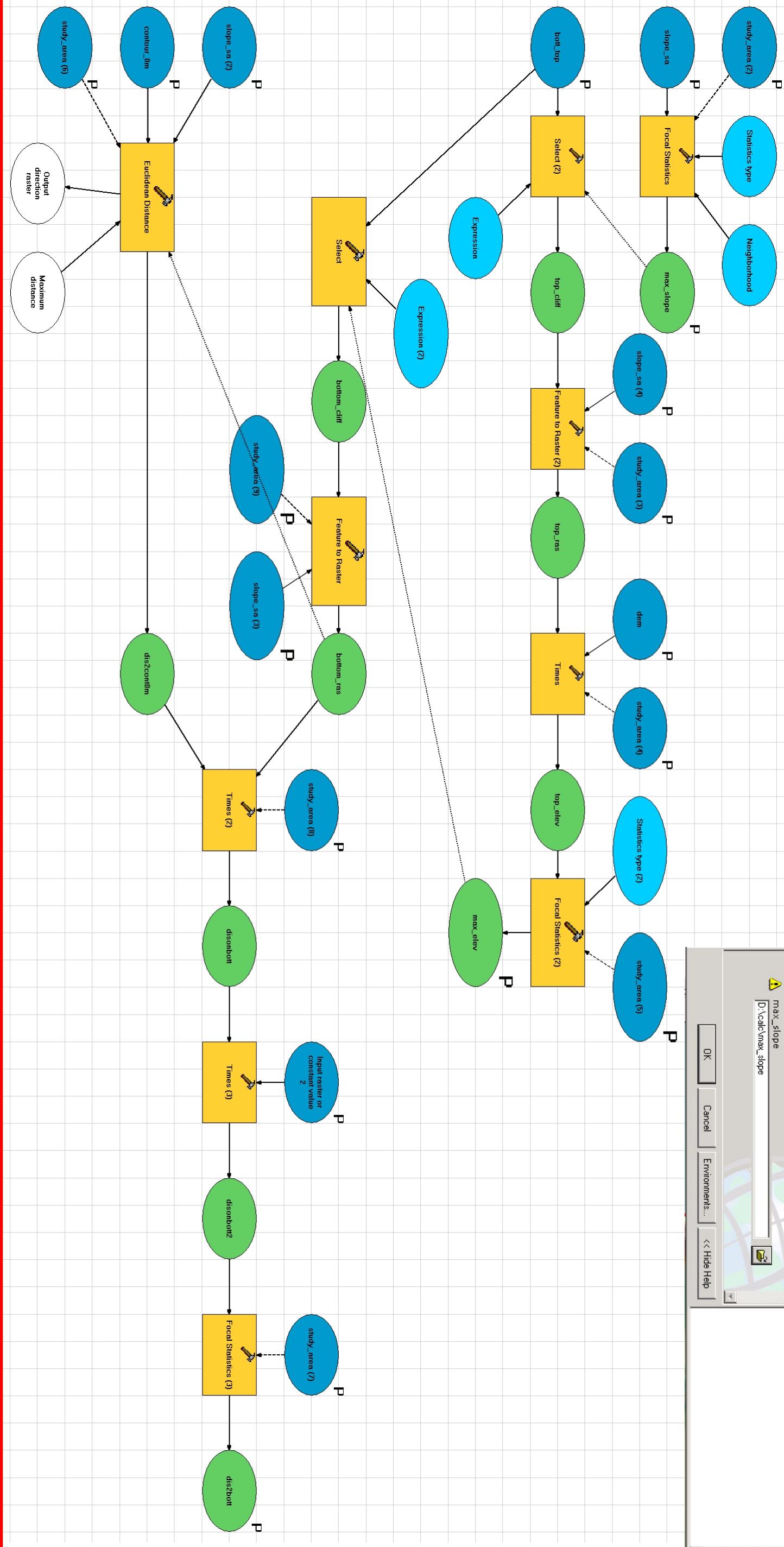
## Stage\_2



### Stage\_3



35









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