



עבור עמותת צלול

הקמת מערך שוברי גלים מנותקים בחוף הרצליה

חוות דעת סדימנטולוגית, השפעות על חופים סמוכים

ספטמבר 2022

כותב: דר' אהוד מחרז

תוכן העיניינים

1. תקציר

1.1 כללי

1.2 השינויים ההיסטוריים ברוחב החוף של הרצליה

1.3 השפעת גלי הים על קו המצוקים

1.4 התפתחות תהליכי אירוזיה בחופים שמצפון ומדרום

1.5 מיגבלות השימוש במודלים מתימטיים

1.6 מיקום הפרויקט של שוברי הגלים המנותקים

1.7 אירוזיה של חופים מצפון ומדרום

2. השינויים הסדימנטולוגיים בחוף הרצליה בעקבות הקמת המרינה

2.1 רוחב החוף בהשוואה לשנים קודמות

2.2 החוף לפני הקמת המרינה

2.3 מסקנות

3. הצטברות חולות בצמוד לדורבן והתפתחות אירוזיה בחופים שמצפון

3.1 הצטברות חולות בצמוד לדורבן והתפתחות אירוזיה בחוף שמצפון

3.2 רמת האמינות של מודלים נומריים

4. תהליכים פיסיקליים שאינם מקבלים ביטוי בסימולציה המתימטית

- 4.1 השפעת החוף הצר מצפון והתנפצות גלים על המצוקים
- 4.2 היווצרות מצב של רוחב חוף אפס
- 4.3 תהליכי האירוזיה בטווח זמן קצר שלאחר הבניה
 - 4.3.1 יציאה משיווי משקל סדימנטולוגי של החופים שמצפון לפרויקט

5. ניטור ותוכנית תחזוקה

- 5.1 מתוך התסקיר בנושא ניטור ותחזוקה
- 5.2 נקודות בנושא ניטור ותחזוקה

6. השפעות סדימנטולוגיות על החופים שמדרום , חופים בתחום העיר תל-אביב

7. חישוב כמות הסעת חולות בסערה

8. חישוב הצטברות חולות מצפון לדורבן

9. חישוב מרחקי הצפת החוף בהרצליה (wave run up) והשפעות על המצוק

9.1 נוסחת CERC

9.2 שיפוע החוף בהרצליה

10. עקרי הדברים

תקציר מנהלים

חוף הרצליה מצפון לשובר הגלים של חוף אכדיה ועד מדרום לחוף סידנא עלי, הינו כיום ברוחב 40-50 מטר. החוף התרחב מאז ההפרעה הראשונית שיצרה המרינה ושוברי הגלים המנותקים (שאבו לכיוונם חולות). בחודש מאי 2021 נמדד רוחב חוף של 60 ו- 70 מטר מדרום לחוף השרון. רוחב החוף לפני הקמת המרינה היה 40-50 מטר.

מניתוח תצלומי אויר , חולות מצטברים מצפון למרינה. אירוזיה הופיעה מדרום באזור חוף הצוק. נראה שהסעת הסדימנטים נטו לאורך החוף היא מצפון לדרום (בדומה למצב בחוף נתניה).

הפרויקט המתוכנן של שוברי גלים מנותקים יבוצע אם כך בחוף שאין בו כיום תהליכי אירוזיה וגרעת חולות אלא הצטברות. במספר קטעים החוף רחב יותר מבעבר.

נראה ששוברי הגלים המנותקים נמצאים בצד הלא נכון , בצד ההצטברות של חולות ולא בצד של התפתחות האירוזיה .

מבדיקה הנדסית לא נמצאו סימני בליה ע"י גלים בתחתית המצוקים (למעט בחוף סידנא עלי). גלים אינם מתנפצים על המצוק , זרימה חלשה במידה ומגיעה אין בכוחה לגרום לאירוזיה של סלע הכורכר הקשה.

אין סימני בליה של המצוק למרות שהחוף היה צר בהרבה במשך שנים ארוכות.

חוף סידנא עלי הוא חוף מעבר , מעבר מחופים רחבים לחופים צרים הנמצאים מצפון להרצליה עד ארסוף. החופים מצפון לחוף הרצליה הינם ברוחב 10-15 מטר בלבד (היו כך מאז ומתמיד , שיווי משקל עדין של הטבע).

הקמת הפרויקט עלולה להביא לאירוזיה בחופים שמצפון לסידנא עלי כתוצאה מגריפת חולות והצטברות שלהם בצל הדורבן המתוכנן , כתוצאה מעצירת התנועה של חולות לכיוון צפון בסערות בעלות רכיב דרומי וכתוצאה מהתנפצות גלים חזקה על קו המצוקים כאשר החוף הולך ונהיה צר.

הקמת הפרויקט עלולה להביא להפחתה בכמות החול שנעה לכיוון דרום במהלך סערות צפוניות וכתוצאה לאירוזיה של החוף ולפגיעה במצוקים באזור חוף הצוק שסובל מאירוזיה גם כך.

עם הצטברות של חולות בחוף הרצליה, נוצר לדעתי, בהדרגה, מסלול עוקף של חולות ממערב למרינה לכיוון חוף הצוק (תמונה 1.1). מצב זה עלול להשתנות עם הקמת הפרויקט וכמות החול שנעה דרומה תקטן.

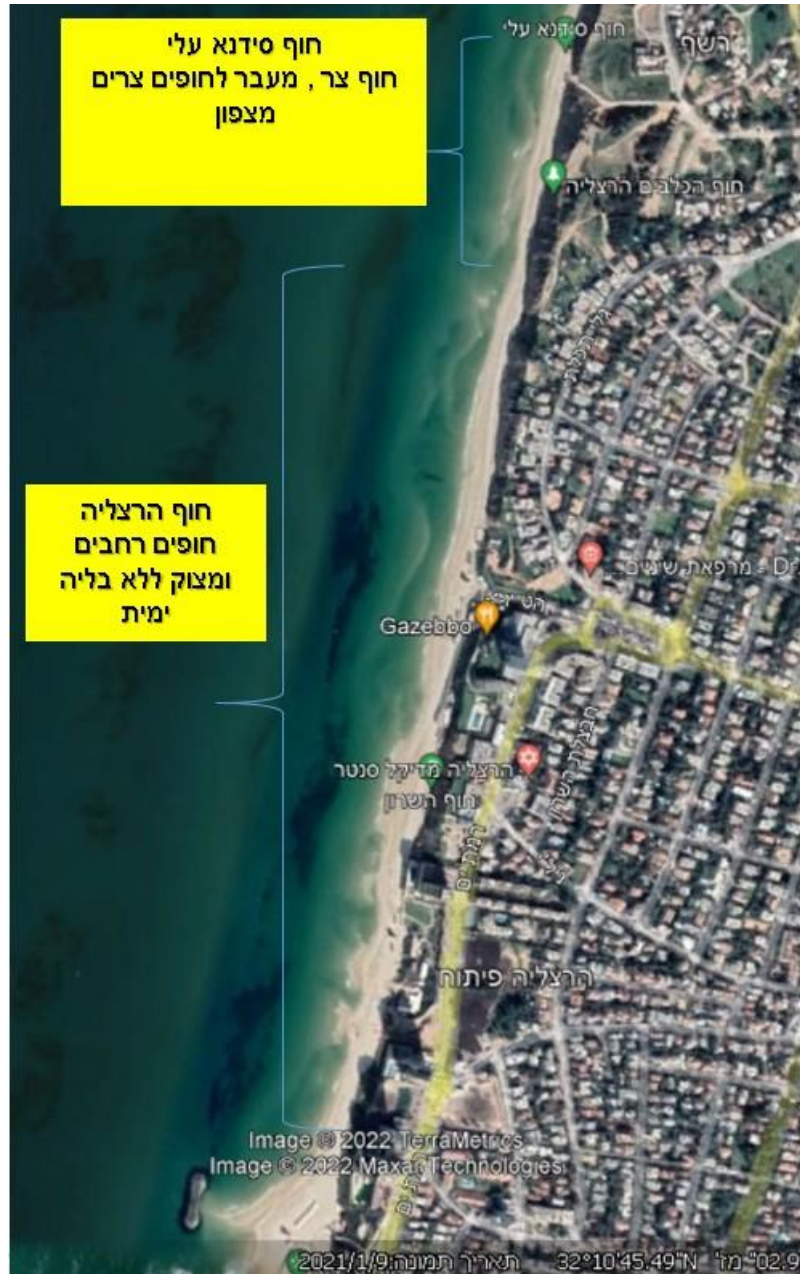
השפעה סדימנטולוגית מסוג זה על חוף הצוק לא נבדקה להבנתי.

ההתמודדות עם נזקים ואירוזיה של חופים מצפון ומדרום תהיה קשה.

בחוף הקיים כיום בהרצליה, מכיוון שהחוף במגמת הצטברות של חולות ומכיוון שרוחב חוף של 40-50 מטר נותן הגנה על המצוקים, ניתן להקים שירותי חוף, ציליות ושמשיות במספר מוקדים לאורך החוף.



שרטוט 1 – תוכנית הקמת שוברי גלים מנותקים ודורבן בחוף הרצליה



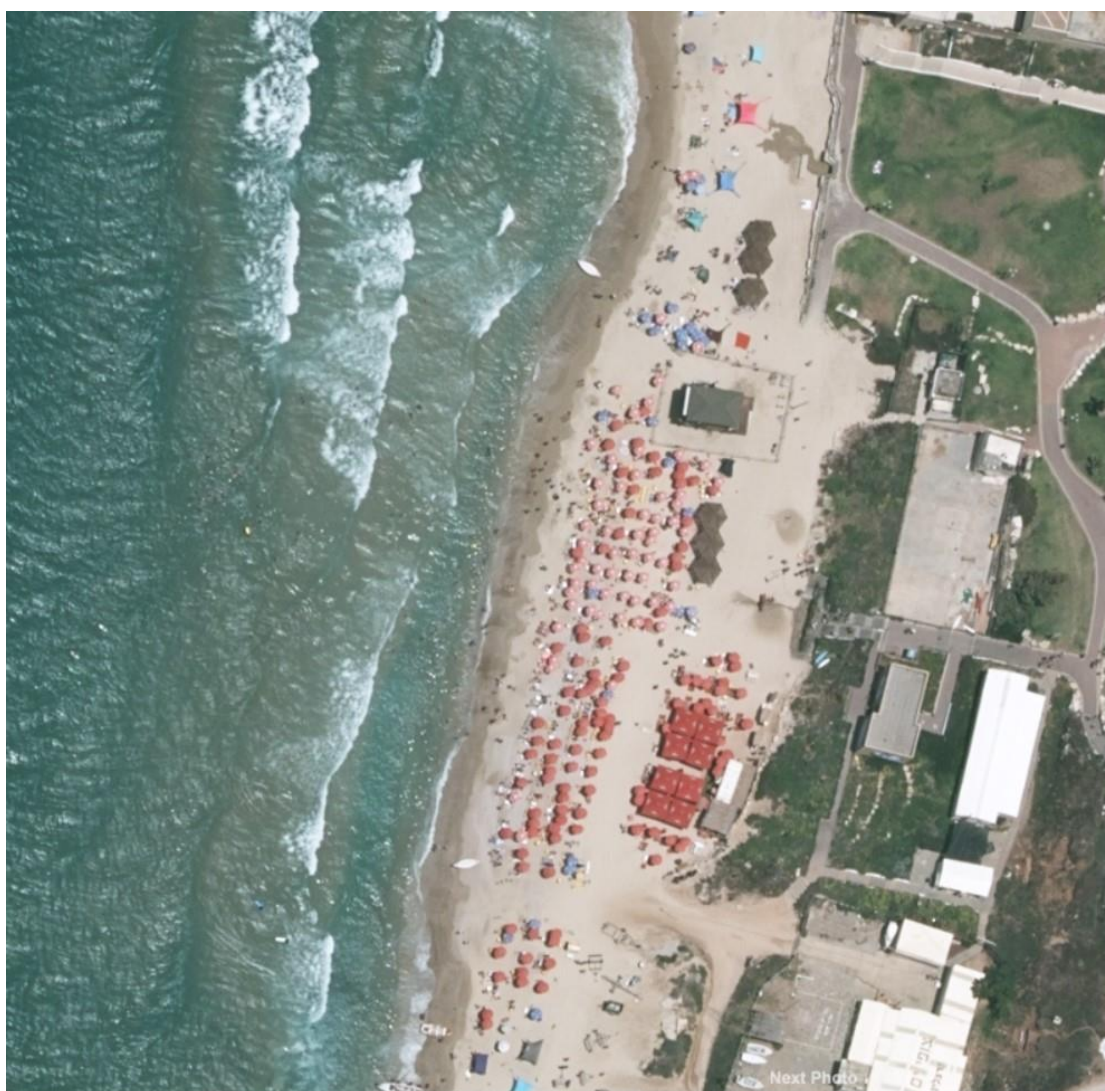
תמונה 1 – הגדרת קטעים לדו"ח זה , חוף הרצליה , חוף סידנא עלי

תצלום האויר מתוך Google Earth

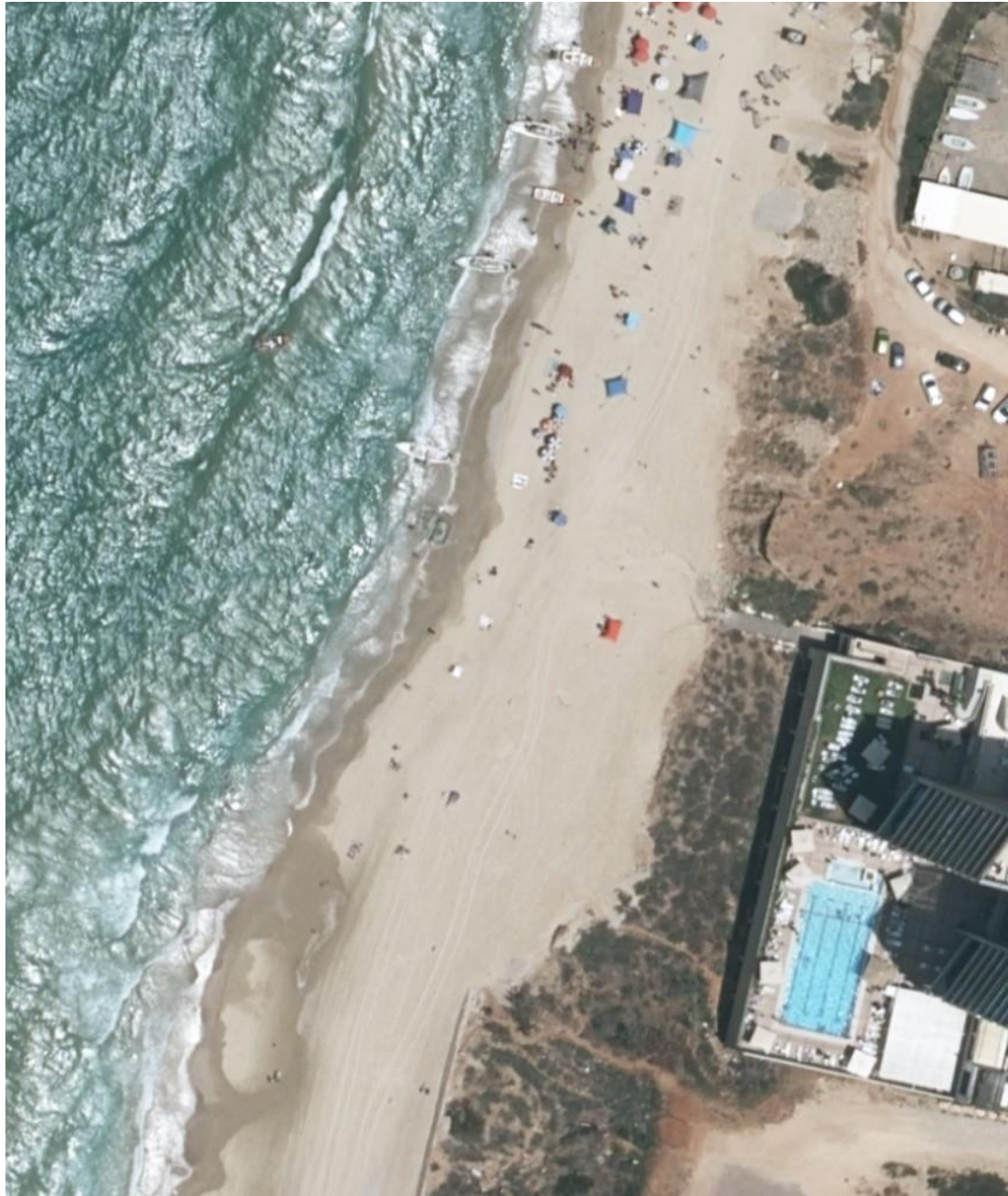


תמונה 1.1 - מאזן הסעת סדימנטים נטו בחוף הרצליה

תצלום האויר מתוך Google Earth



תמונה 1.2 – חוף הרצליה מצפון לחוף אכדיה 6.6.2021, רוחב 40-50 מטר, חולות רבים מצטברים בתוך המים (צבע חום), אין בליה מגלים בבסיס המצוק.



תמונה 1.3 – חוף הרצליה מדרום לחוף השרון 6.6.2021, רוחב החוף 40 מטר כמו
בשנת 1982, אין בליה ע"י גלים בבסיס המצוק.

1.1 תקציר

1.1 כללי

חוות הדעת בנושא ההשפעות הסדימנטולוגיות של הקמת שוברי גלים מנותקים בחוף הרצליה הוזמנה על ידי עמותת צלול.

הקמת הפרויקט תשפיע על חופים אחרים שאינם בגבולות העיר הרצליה, חופים בתחום המועצה האזורית דרום השרון, חופים בתחום העיר תל-אביב.

1.2 השינויים ההיסטוריים ברוחב החוף של הרצליה

רוחב החוף בהרצליה, מצפון לחוף אכדיה ועד מדרום לחוף סידנא עלי, דומה כיום ואף גדול במספר חתכים מרוחב החוף לפני הקמת המרינה.

נראה שהחוף נמצא במגמת התרחבות כתוצאה מהצטברות של חולות המגיעים מצפון.

נראה שמאזן הסעת הסדימנטים לאורך החוף הוא מצפון לדרום והמרינה משמשת כסוג של מחסום לתנועת חולות דרומה.

1.3 השפעת גלי הים על קו המצוקים

בתנאי השיפוע המתון מאד של חוף הרצליה (1-2%) וברוחב חוף של 40-50 מטר ומעלה, אין בליה של תחתית המצוקים ע"י גלים (ראה פרק 9). בגלל השיפוע המתון, גלי הים מאבדים אנרגיה רבה עוד לפני הגיעם לקו החוף. גם בסערות עם תקופת חזרה של 1:50 שנה, הגלים מגיעים ללא עוצמה לבוהן המצוק.

בחוף סידנא עלי רוחב החוף 25-30 מטר ויש בליה של תחתית המצוק ע"י גלים.

1.4 התפתחות תהליכי אירוזיה בחופים שמצפון ומדרום לפרויקט

בחופים שמצפון ומדרום לפרויקט עלולה להתפתח אירוזיה שתגרום לנזק למצוק.



1.5 מיגבלות השימוש במודלים מתימטיים

מקובל לבצע מודל סדימנטולוגי מתימטי על מנת לתת תחזית ולהציג את ההשפעות הצפויות על חופים סמוכים עקב הקמת פרויקט ימי.

יחד עם זאת למודלים יש מגבלות.

ע"פ תסקיר ההשפעה על הסביבה :

"פתרונות של מודלים ספרתיים , גם כאשר מתקבלים עם דיוק גבוה מהווים **במקרה הטוב** המחשה של מגמות כלליות".

"יש להתייחס לתוצאות מודל כלשהוא בזהירות רבה".

1.6 מיקום הפרויקט של שוברי הגלים המנותקים

לאחר מספר שנים של גריעת חול מהחופים הבלתי מוגנים , חולות הולכים ומצטברים מצפון למרינה הרצליה , החוף במגמת התרחבות , במקביל , החופים מדרום למרינה (באזור חוף הצוק) הם צרים ועברו אירוזיה.

עדויות אלו מצביעות על כך שכיוון הסעת הסדימנט **נטו** בחופי הרצליה הוא מצפון לדרום. במצב של הסעה הפוכה התהליכים הנ"ל לא היו קורים.

1.7 אירוזיה של חופים מצפון ומדרום

הפרויקט מתוכנן להבנות בחופים שאין בהם כיום אירוזיה .

הפרויקט עלול לגרום לאירוזיה של חופים מצפון , בתחום העיר הרצליה ובתחום המועצה דרום השרון ולאירוזיה של חופים מדרום בתחום העיר תל-אביב (הסבר מפורט מוגש בפרק 6).



2. השינויים הסדימנטולוגיים בחוף הרצליה בעקבות הקמת המרינה

הפרק כולל בדיקה והשוואה של רוחב החוף בהרצליה בשלוש תקופות, לפני הקמת המרינה, בשנים שלאחר ההקמה ובתקופה הנוכחית.

ההשוואה בוצעה ע"י מדידת רוחב החוף מתוך תצלומי אוויר.

הפרק מסביר את התהליכים הסדימנטולוגיים שהתרחשו במהלך השנים בחוף הרצליה.



2.1 חוף הרצליה כיום בהשוואה לשנים קודמות

רוחב החוף של הרצליה נמדד ב- 10 נקודות שונות לאורך החוף. המדידה מתוך תצלומי אוויר של google earth.

המדידה בוצעה מתצלום אוויר מחודש מאי 2021 ומתצלום מחודש אפריל 2010.

מידת מרחקים מתוך google earth הינה מספיק מדוייקת על מנת לקבוע את רוחב החוף בדיוק של כמטר.

מצרפת טבלה עם תוצאות המדידה לרבות השוואת רוחב החוף בין התצלומים. נראה שהחוף התרחב בין השנים 2010 ו- 2021 בשיעור ממוצע של כ- 20 מטר.

החוף נמצא בתהליך של התרחבות ונראה שהחוף ימשיך להתרחב גם בשנים הבאות.

הסעת החולות נטו לאורך החוף היא קטנה בכיוון מצפון לדרום כך שהמרינה עוצרת את תנועת החול לכיוון דרום ומאפשרת הצטברות מצפון.

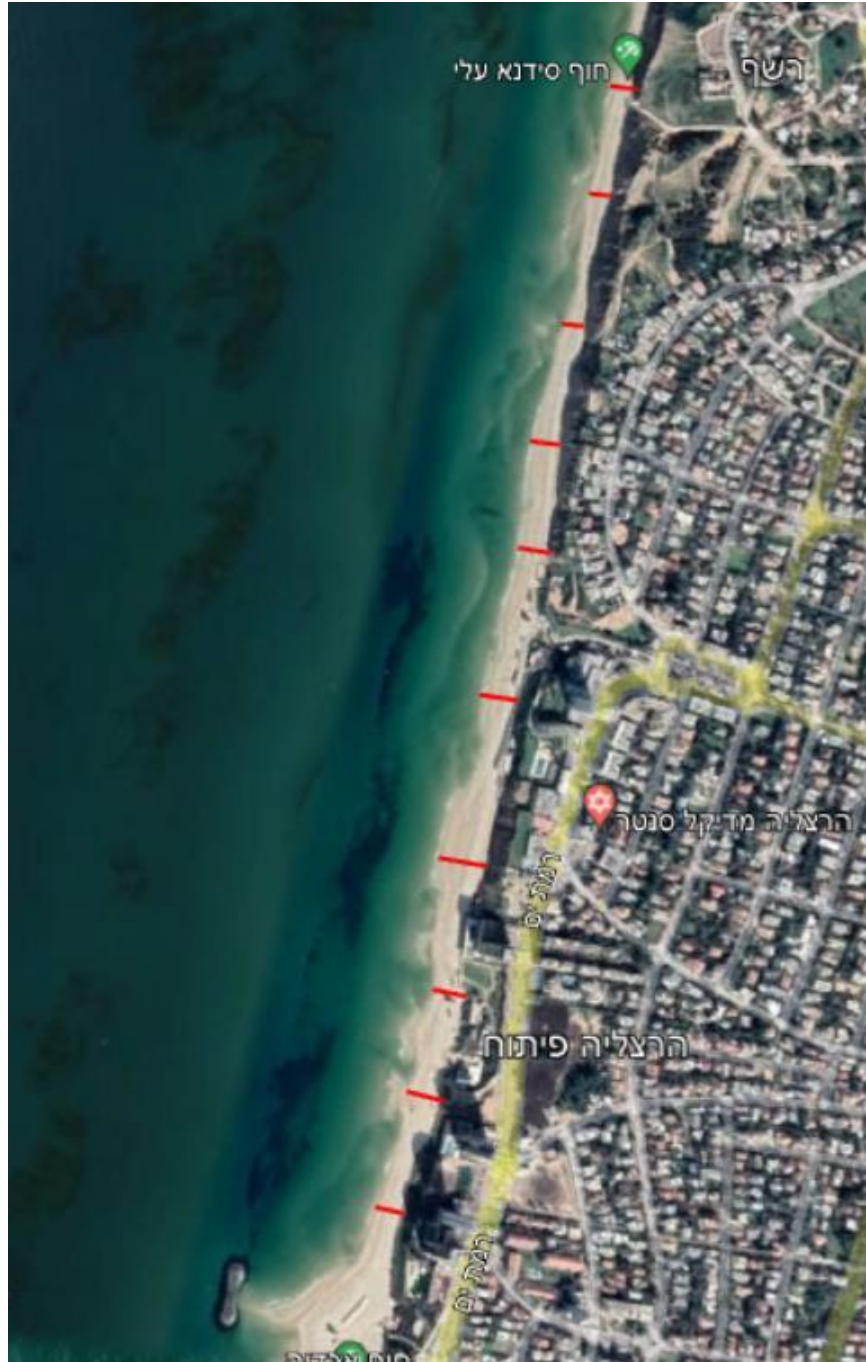
2.1.1 חוף סידנא עלי

חוף סידנא עלי הינו חוף שונה במאפיינים מחוף הרצליה, אורך הקטע כ- 300 מטר (ראה תמונה מספר 1).

בחוף סידנא עלי רוחב רצועת החוף יורד לכדי 25-30 מטר, החוף הולך ונהיה צר ככל שנעים צפונה.

רצועת החוף בסידנא עלי הינה רצועת מעבר מחופי הרצליה הרחבים לחופים צרים בהרבה מצפון. רוחב החופים מצפון לסידנא עלי הם 10-15 מטר בלבד.

בליה של תחתית המצוק ע"י גלים נראית בחוף סידנא עלי כמו גם בחופים שמצפון לסידנא עלי עד ארסוף. עם זאת אין התמוטטויות משמעותיות של המצוק בקטע זה וגם דו"ח המכון הגיאולוגי (ראה מראה מקום 4) מפרט מספר קטן של התמוטטויות.



תמונה 2 - מדידה של רוחב החוף מתוך google earth , 10 נקודות לאורך החוף .

חודש מאי 2021



תמונה 2 - מדידה של רוחב החוף מתוך google earth , 10 נקודות לאורך החוף .

חודש אפריל 2010

נקודות מדידה מדרום לצפון	רוחב החוף מאי 2021	רוחב החוף אפריל 2010	הפרש 2021 פחות 2010
1	41	22	+19
2	57	37	+20
3	51	22	+29
4	74	38	+36
5	59	24	+35
6	50	25	+25
7	46	26	+20
8	35	23	+12
9	35	24	+11
10	44	22	+22
רוחב חוף ממוצע	49.2 מטר	26.3 מטר	+22.9

טבלה מספר 1 – השוואת רוחב החוף בהרצליה בין השנים 2010 ו- 2021

הערכה של הסעת הסדימנטים נטו בחוף הרצליה

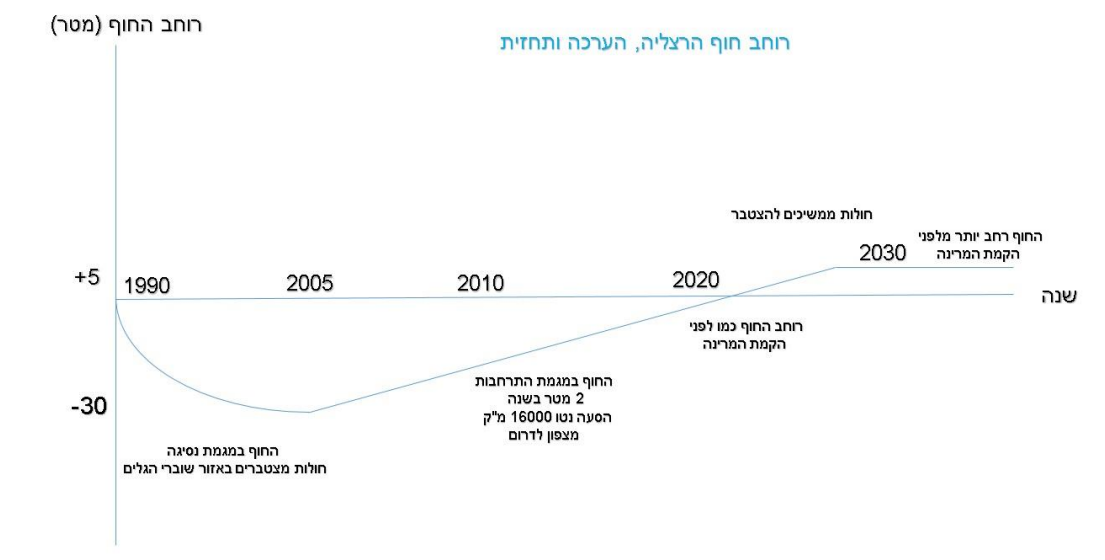
החוף התרחב בשיעור של 22.9 מטר בתקופה של 11 שנה, קצב של 2.08 מטר לשנה שיפוע החוף מתון, כ- 2%

כמות החול המצטברת למטר אורך חוף עד לעומק 4- מטר, $4 \times 2.08 = 8.32$ מ"ק (התרחבות החוף מלווה בהתקדמות השיפוע התת-ימי של חולות לכיוון מערב).

כמות חול שנתית מצטברת לאורך כ- 1800 מטר בחוף הרצליה, 15000 מ"ק

הערכה של ההסעה נטו, כ- 15000 מ"ק לשנה מצפון לדרום.

החוף החל בתהליך התרחבות רק לאחר שחולות הפסיקו לשקוע באזור שוברי הגלים המנותקים, כ- 10 שנים לאחר ההקמה. בגרף הבא מצורפת הערכה של השינויים ברוחב החוף בהרצליה במהלך השנים.



שרטוט 1 - הערכת השינויים של רוחב החוף בהרצליה במהלך השנים



הסעת החול נטו בחוף הרצליה

הסבר:

חולות נעים לאורך החוף בשני הכיוונים, לצפון ולדרום, תלוי בכיוון הגלים ביחס לאזימוט קו החוף.

אם מבצעים הפחתה של הסעת החול לצפון פחות הסעת החול לדרום מקבלים את ההסעה נטו.

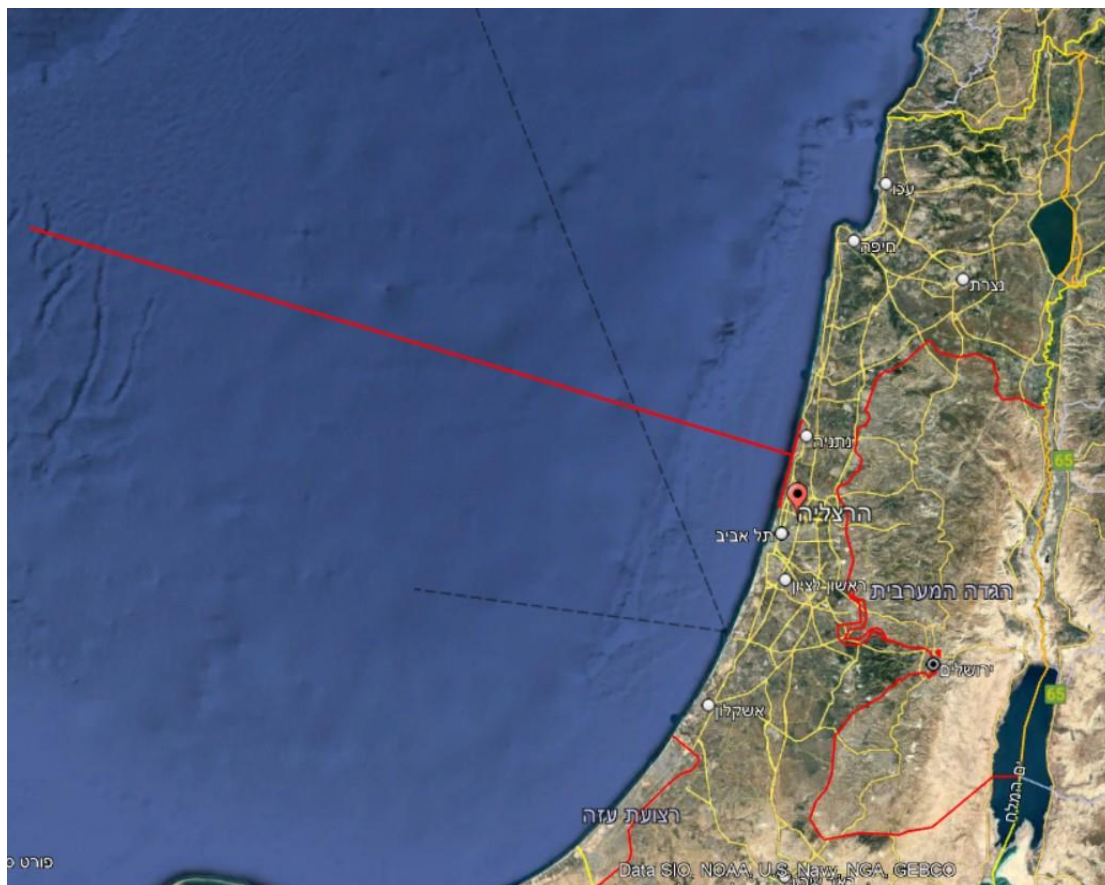
להסעה נטו חשיבות רבה מאד שכן היא קובעת באיזה צד של המבנה תהיה הצטברות חולות ובאיזה צד תהיה אירוזיה.

באזור נתניה הסעת החולות נטו לאורך החוף היא מצפון לדרום, לכן נבנים שוברי גלים נוספים מדרום, בצד שבו התפתחה אירוזיה של החוף והחופים צרים.

אזימוט קו החוף של הרצליה הינו כמעט זהה לאזימוט קו החוף בנתניה, לכן אין שום סיבה להניח שכיוון ההסעה נטו יהיה שונה. גם בהרצליה ההסעה היא מצפון לדרום (תמונה 1.1).

הסעת הסדימנטים נטו בהרצליה היא קטנה לכן לתהליכים לאחר בניה לוקח הרבה שנים, הכל קורה לאט.

קשה גם לאפיין את כיוון ההסעה בהרצליה ע"י מדידות גלים, הגודל נטו הוא קטן ועלול לצאת לדעתי בתחום שגיאת המדידה של הגלים.



שרטוט 2 – אזימוט החוף בהרצליה ונתניה הינו כמעט זהה. אין סיבה להניח שכיוון הסעת הסדימנטים נטו לאורך החוף יהיה שונה .



בדיקה הנדסית של החוף והמצוק בתאריך 3.9.2022 ע"י מהנדס מוסמך

חוף הרצליה עד סידנא עלי

שיפוע חוף : מתון ביותר 1-2%

רום תחתית המצוק (בוהן המצוק) : 1.5 מטר

רוחב החוף : 40-50 מטר

מגמה של רוחב החוף : הצטברות חולות , רוחב החוף במגמת התרחבות

הגעת גלים אל המצוק בסערות : גלים אינם מגיעים לקו המצוק אלא בזחילה

סוג הסלע ממנו עשוי המצוק : כורכר קשה

בליה ע"י גלים בתחתית המצוק : אין סימני בליה

בליה של המצוק ע"י הרוח : נראית בליה של המצוק ע"י הרוח

בליה ע"י נגר עילי : קיימת

הדרדרות אבנים מהמצוק : קיים חשש

אמצעי הגנה על המצוק : אבנים בגודל 10-15 ס"מ בשכבה שטוחה. האבנים מונחות בצמוד לבוהן המצוק ככל הנראה ע"י העירייה במהלך ניקוי החוף.

גידור : קיים

אם לצטט את דר' יעקב ניר , גיאולוג ימי , מצוק הכורכר בחוף הרצליה הוא אחד הקשים בחופי ישראל.

דו"ח המכון הגיאולוגי (מראה מקום 4) מצביע על 0 התמוטטויות בחוף הרצליה והתמוטטויות ספורות מאד בחוף סידנא עלי.



חוף סידנא עלי

שיפוע חוף : מתון ביותר 1-2%

רום תחתית המצוק (בוהן המצוק) : 1 מטר

רוחב החוף : 25-30 מטר

מגמה של רוחב החוף : במגמת התרחבות

הגעת גלים אל המצוק בסערות : התנפצות

סוג הסלע : כורכר קשה

בליה ע"י גלים בתחתית המצוק : יש בליה בתחתית המצוק

בליה של המצוק ע"י הרוח : יש בליה של המצוק ע"י הרוח

בליה ע"י נגר עילי : יש

הדרדרות אבנים מהמצוק : יש

אמצעי הגנה על המצוק : אין

גידור : קיים חלקית , חלק הוסר

המצוק בחוף סידנא עלי נתון לבליה ימית של תחתית המצוק , הבליה היא ככל הנראה תוצאה של התנפצות גלים במשך שנים ארוכות מאד.

חוף סידנא עלי מושפע מהנחת שיפועי אבן (קיר ים) בבוהן המצוק מדרום לאפולוניה.

אין חול בחוף בקטע של קיר הים וזה מקרין על חוף סידנא עלי (זרם מצפון מגיע ריק מסדימנט).



החופים הצפוניים , מצפון לסידנא עלי

שיפוע חוף : מתון ביותר 1-2%

רום תחתית המצוק (בוהן המצוק) : 1 מטר

רוחב החוף : 10-15 מטר

מגמה של רוחב החוף : יציב

סוג הסלע : כורכר קשה

בליה ע"י גלים בתחתית המצוק : יש בליה עקב גלים בתחתית המצוק

בליה של המצוק ע"י הרוח : יש בליה חזקה של המצוק ע"י הרוח

בליה ע"י נגר עילי : יש

היתדרדות אבנים מהמצוק : יש חשש

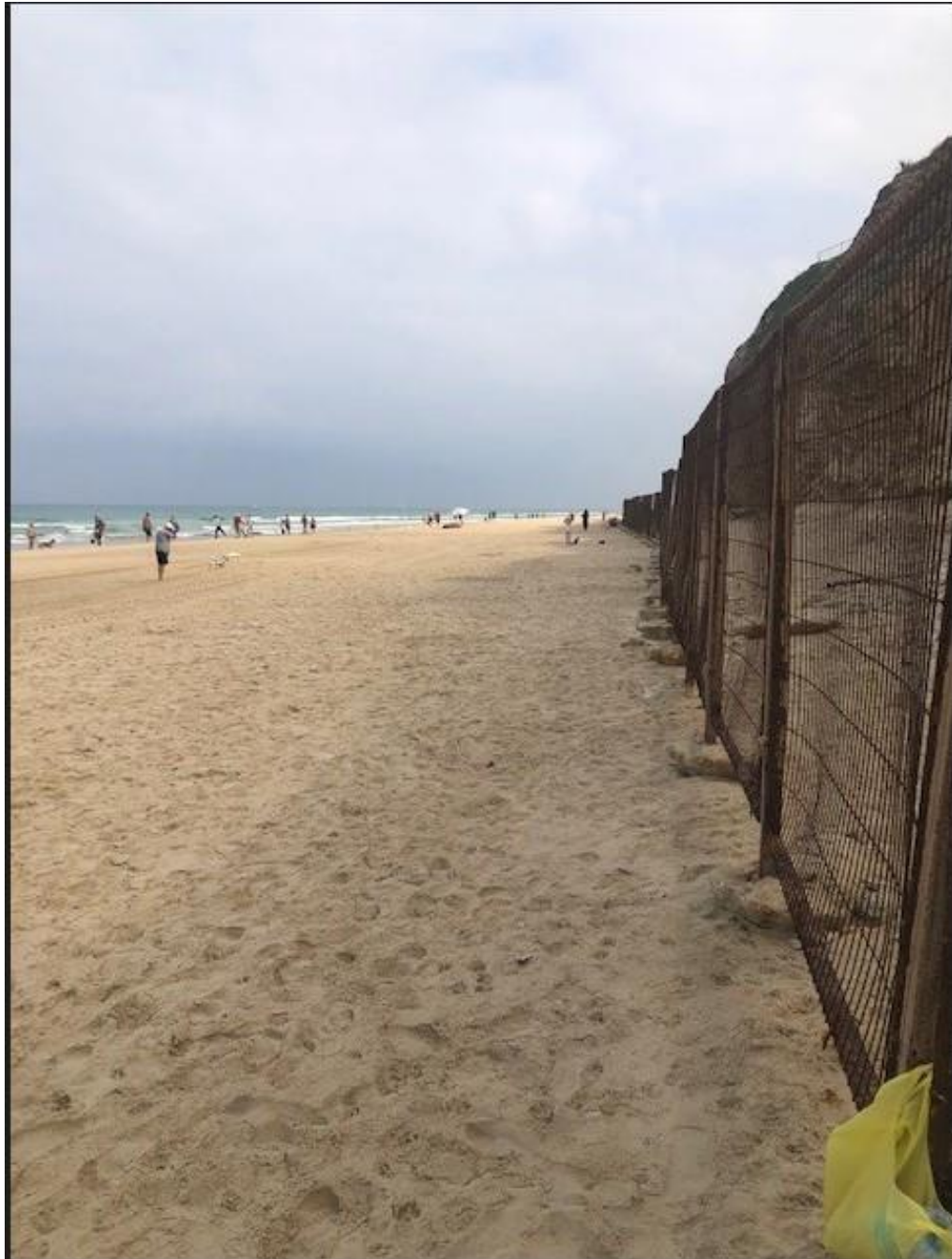
אמצעי הגנה על המצוק : אין

גידור : אין

Ehud Mechrez



Coastal & Marine Engineering



תמונה 4 - חוף הרצליה 3.9.22, חוף השרון, שיפוע מתון, המצוק מרוחק מקו המים

רוחב החוף 40-50 מטר

Ehud Mechrez



Coastal & Marine Engineering



תמונה 5 - חוף הרצליה , 3.9.22 מצפון לחוף השרון

המצוק מרוחק 40-50 מטר מקו המים

אין בליה ע"י גלים של תחתית המצוק , המצוק מסלע כורכר קשה



תמונה 6 - חוף הרצליה , מצפון לחוף השרון , 3.9.22

המצוק מרוחק מקו המים , אין בליה מגלים



תמונה 7 - חוף סידנא עלי, ישנה בליה של תחתית המצוק ע"י גלים, 3.9.22

Ehud Mechrez



Coastal & Marine Engineering



תמונה 8 - החוף שמצפון לסידנא עלי , בליה ע"י גלים בתחתית המצוק ,

הבליה תוצאה של זמן ארוך מאד



תמונה 9 - החוף שמצפון לסידנא עלי, בליה של גלים בתחתית המצוק, 3.9.22



בדיקה הנדסית של המצוק בחוף סידנא עלי

כאמור , חוף סידנא עלי הינו חוף מעבר מחופים רחבים בדרום לחופים צרים מצפון.

החוף הינו צר ביחס לחופי הרצליה שמדרום , הבליה בתחתית המצוק היא בליה ארוכת שנים. יש צורך בסערות גלים רבות על מנת לחצוב בתחתית המצוק בשיעור של כחצי מטר.

החופים שמצפון לסידנא עלי ועד ארסוף נמצאים במצב דומה.

תכנון הנדסי להגנה על המצוק באזור סידנא עלי הוא תכנון נקודתי לאורך קטע של כ- 200 עד 300 מטר.

ניתן לקחת דגימות של מצוק הכורכר ע"י קידוחים והוצאת גלילים לבצע בדיקות חוזק בלחיצה על המידגמים על מנת לקבוע את חוזק סלע הכורכר שממנו בנוי המצוק. לאחר מכן ניתן לבצע חישוב סטטי על מנת לבדוק את מקדם הבטחון לגלישות במצב שבו נמצא המצוק.

המצוק בנוי מסלע כורכר קשה.



2.2 חוף הרצליה לפני הקמת המרינה

ניתן להתבסס בנושא זה על עבודת מחקר של פרופ' דב צביאלי שנעשתה במסגרת תיזה לדוקטורט.

מתוך המחקר :

ממצאי ומסקנות המחקר

1. ממצאי המחקר מראים כי משנת 1965 ועד 1990 (טרם הקמת המרינה) התרחבו חופיה החוליים של הרצליה בשיעור ממוצע של 15-28 מ' (60%-180%). בשנת 1965 היה רוחבם הממוצע של החופים 15-30 מ', ובשנת 1990 נמדד גידול ברוחבם לכדי 40-50 מ'. ממצאים אלה יכולים ללמד כי בתקופת הזמן הנדונה מאזן הסדימנט החולי בחוף היה **במגמה חיובית**.

רוחב החוף לפני הקמת המרינה היה 40-50 מטר .

מצורפות תמונות של חוף הרצליה מחודש מאי שנת 1982.

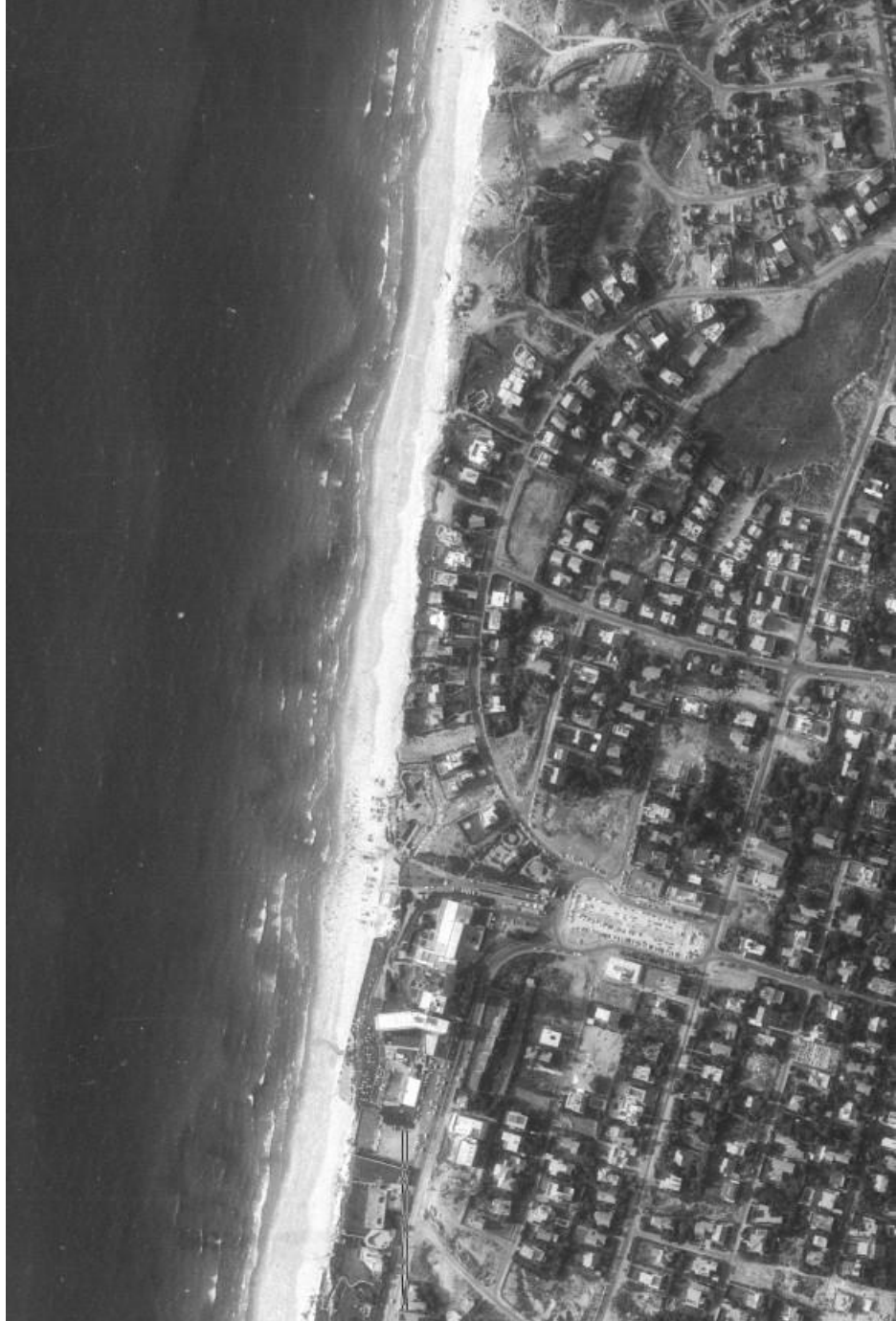
Ehud Mechrez



Coastal & Marine Engineering



תמונה 10 – חוף הרצליה 25.6.1982 , רוחב החוף 40-50 מטר



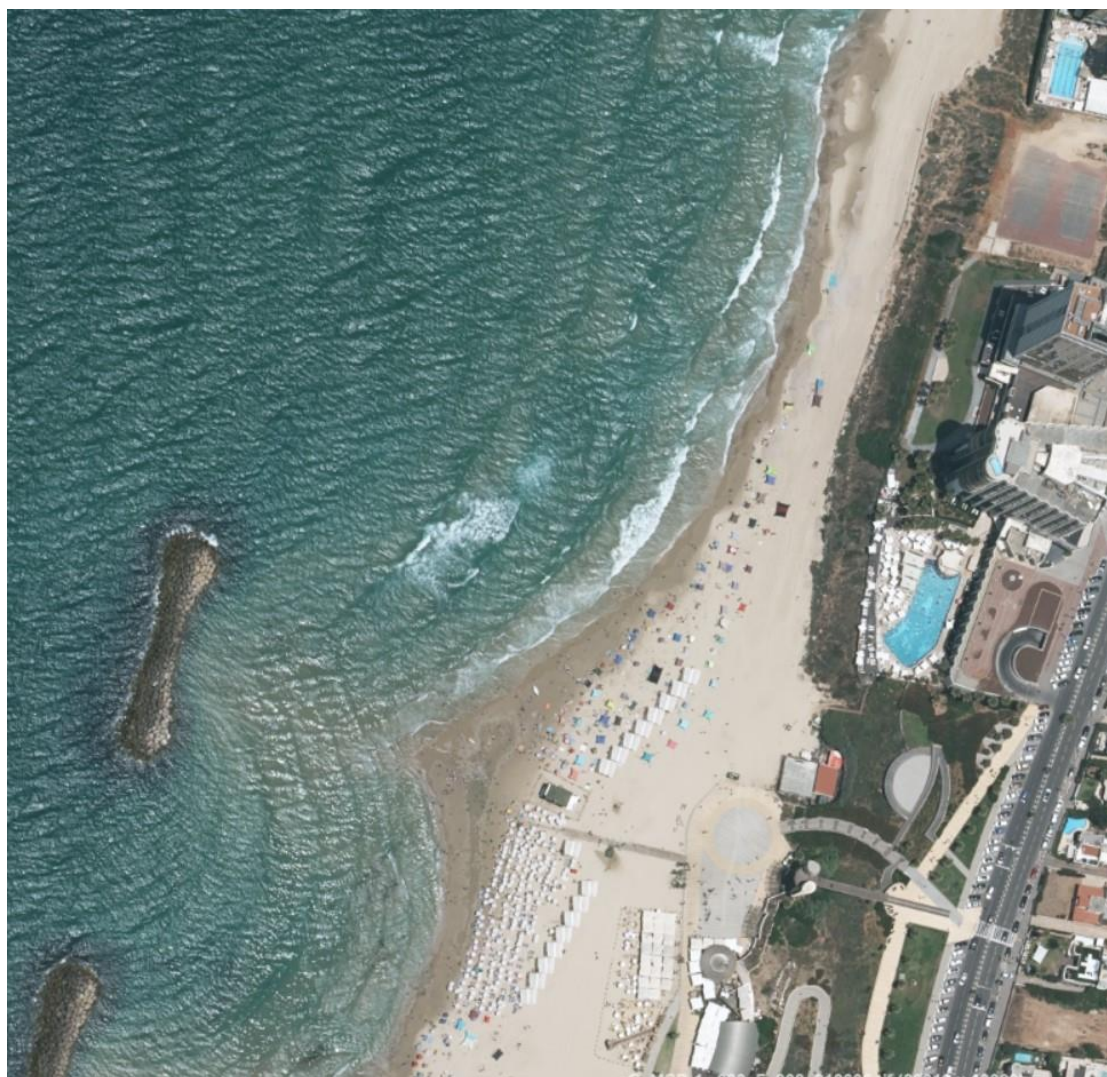
חוף הרצליה 25.6.1982, רוחב החוף 40-50 מטר



חוף סידנא עלי 25.6.1982 , החוף הולך ונהיה צר לכיוון צפון , דומה למצב היום

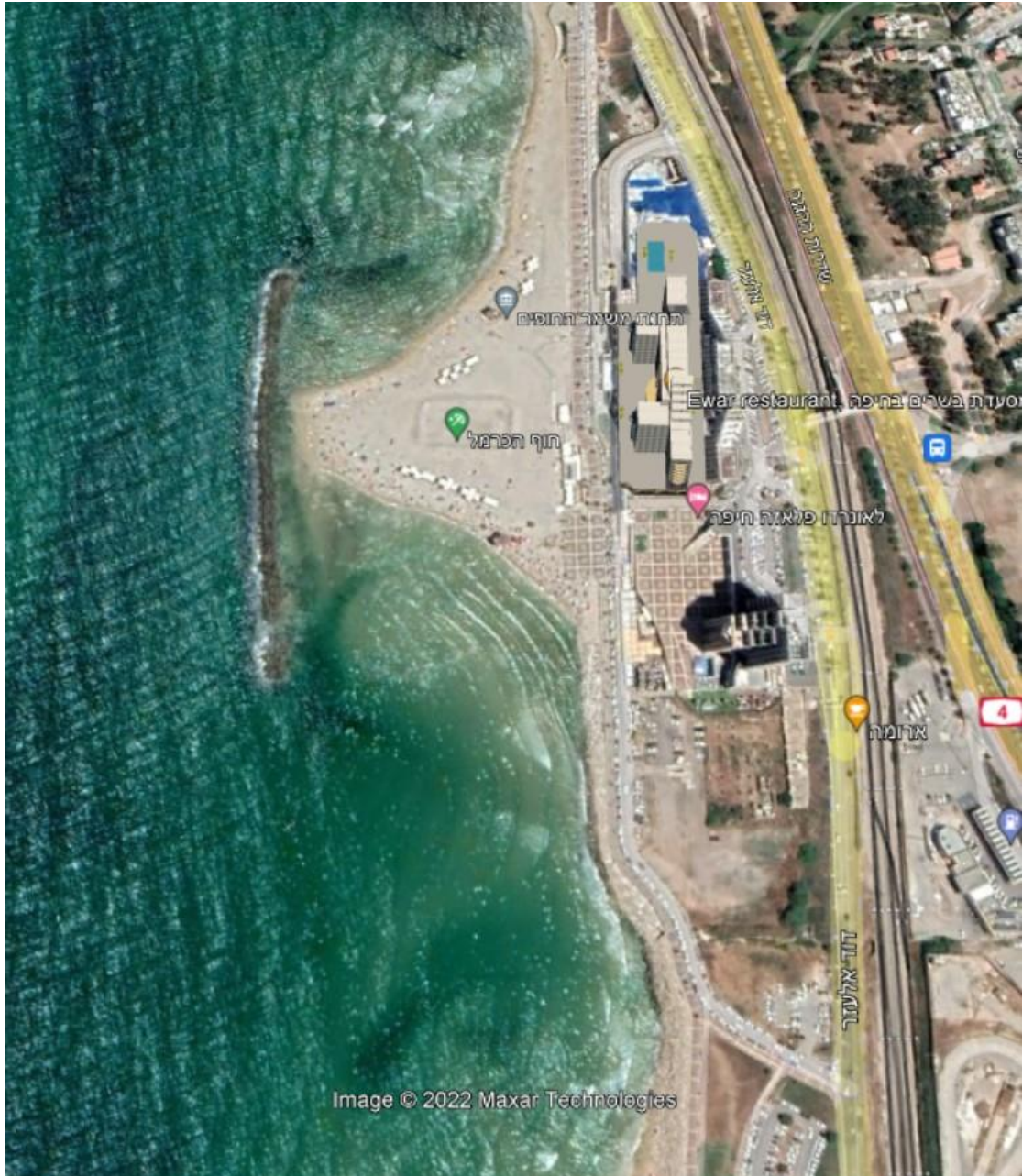
2.3 סכום

1. חוף הרצליה עבר תהליך אירוזיה במהלך מספר שנים לאחר הקמת המרינה ושוברי הגלים המנותקים מצפון.
2. הסיבה לאירוזיה של החוף, חולות נעו לכיוון דרום ושקעו באזור המוגן על ידי שוברי הגלים.
3. בתהליך ארוך ואיטי שלקח כ - 25 שנה התרחב החוף בהרצליה מחדש . החוף כיום רחב ועשיר בסדימנטים בדומה לתקופה שקדמה להקמת המרינה. את כמות הסדימנט הגדולה ניתן לראות גם בתוך המים (בתמונה 1).
4. מאזן הסעת הסדימנטים **נטו** בחוף הרצליה הוא **מצפון לדרום** (בדומה לחוף נתניה) . המאזן נטו הינו קטן ולכן התהליכים בחוף **איטיים** ולקח כ- 30 שנה עד שהחוף נבנה מחדש.
5. גם האזור הצפוני , חוף סידנא עלי , הולך ומתרחב בהדרגה , כיום רוחבו 25-30 מטר בתקופת הקיץ.
6. מאחר ומאזן ההסעה נטו הינו מצפון לדרום , חולות **ממשיכים להצטבר** בחוף הרצליה מצפון למרינה ולשוברי הגלים המנותקים. רוחב החוף ילך ויגדל באופן טבעי כתוצאה מהצטברות חולות מצפון למרינה.
7. רוחב חוף הרצליה כיום בתקופת הקיץ הינו 40-50 מטר (בדומה למצב שלפני הקמת המרינה) . באזור סידנא עלי 25-30 מטר.
8. כפי שיוסבר בהמשך , כאשר רוחב החוף הינו 50 - 40 מטר , בתנאי שיפוע החוף המתון מאד של הרצליה (1-2 אחוז) , גלי הים במהלך סערות אינם מגיעים לקו המצוקים , למעט בזחילה איטית . **בבדיקה הנדסית שעשינו לא נמצאה בליה ע"י גלי ים של תחתית המצוקים** (למעט בחוף סידנא עלי).
9. במקביל להצטברות החולות מצפון למרינה, התפתחה אירוזיה של החוף באזור חוף הצוק הנמצא מדרום.
10. ההוכחות לכך שהסעת הסדימנטים נטו בחוף הרצליה היא מצפון לדרום :
- 10.1 ישנה הצטברות מתמשכת של חולות מצפון למרינה והחופים מתרחבים בהדרגה
- 10.2 רוחב החוף מצפון ובצמוד לשובר הגלים המנותק הצפוני הוא 40 מטר , חוף רחב ועשיר בחולות (תמונה 11) . במידה וההסעה נטו היתה מדרום לצפון חוף זה היה צר מאד ושואף לאפס והיה צורך להגן באבנים על קו המצוק (ראה תמונה 12 חוף הכרמל).
11. נראה שפרויקט ההגנה על החוף באמצעות שוברי גלים מנותקים איננו בצד הנכון , מצפון למרינה החופים במגמת התרחבות , מדרום למרינה החופים במצב אירוזיה.

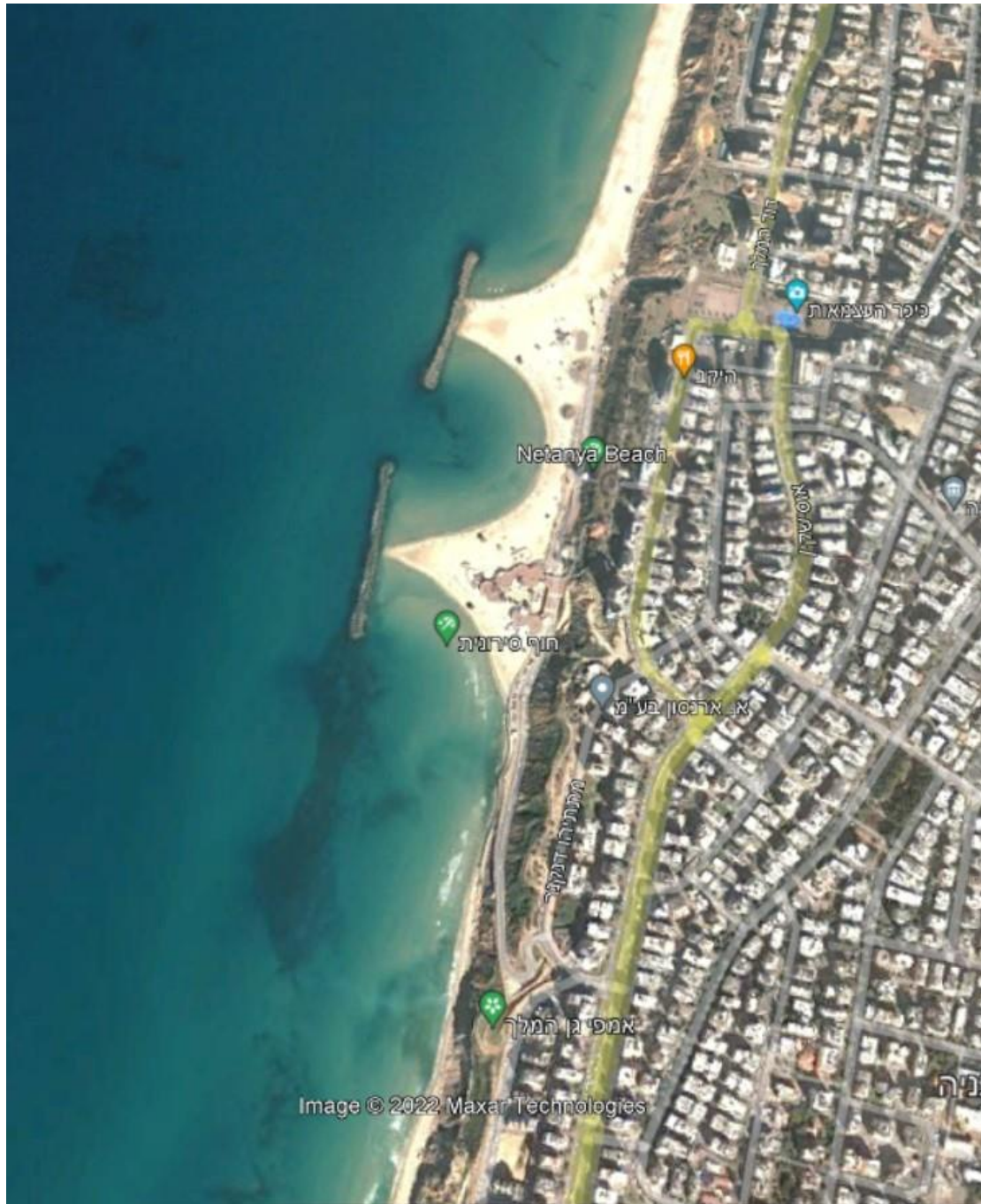


תמונה 11 – חוף הרצליה 6.6.2021 .

הוכחה לכך שההסעה נטו היא מצפון לדרום , החוף מצפון לשובר הגלים המנותק הצפוני הוא חוף רחב ועשיר בסדימנטים.



תמונה 12 – הגנה על מורד הזרם של שובר גלים מנותק באמצעות אבן. במקרה זה בחוף הכרמל. ללא הגנת אבן האירוזיה היתה מגיעה עד הכביש.



תמונה 13- חוף נתניה 2016 . חוף רחב מצפון , חוף צר במצב אירוזיה מדרום (50 שנה לאחר הקמת שוברי הגלים). בהרצליה המצב דומה מבחינת כיוון הסעת החול.



3. הצטברות חולות בצמוד לדורבן Y והתפתחות אירוזיה של החוף מצפון לשטח הפרויקט

מצפון לדורבן יוצר מצב של התפצלות זרם. תופעה מסוג זה נראית גם במבנים אחרים אשר נבנו לאורך החוף (סעיף 3.2.1).

התפצלות הזרם מצפון לדורבן תופיע בסערות בעלות רכיב דרומי וגם בסערות מכיוון מערב.

התפצלות הזרם היא מצב שבו נוצרת זרימה דרומה אל תוך האזור המוגן יחסית מגלים בצל הדורבן וזרימה צפונה החל מהנקודה שבה השפעת צל הדורבן נעלמת.

זרם נוצר מאזור שבו הגלים גבוהים לאזור שבו הגלים נמוכים, במקרה זה צל הדורבן יוצר ים שקט יחסית מצפון ובצמוד אליו, מה שהופך להיות אזור שיקוע לסדימנטים.

במצב של התפצלות זרם נוצרת אירוזיה חזקה של החוף. נוצר למעשה תא שטח חופי שממנו יש רק זרימה יוצאת, לשני הכיוונים. חולות שעולים לתרחיף וחולות שעל קרקעית הים נעלמים מתא השטח.

רוחב החוף הולך ויורד לכיוון האפס, הגלים מתנפצים ישירות על קו המצוקים.

חולות ילכו ויצטברו בצמוד לדורבן ומהצד הצפוני שלו. אורך הדורבן הוא כ- 180 מטר. הצטברות החול תהיה בצורת מעין משולש. הערכה מתוך פרויקטים דומים, אורך הצלע הניצבת לחוף תהיה כ- 60 מטר (שליש ממרחק חדירת המבנה לים), אורך הצלע במקביל לחוף תהיה כ- 90 מטר.

כמות החול הכוללת אשר תצטבר בצמוד לדורבן ומצידו הצפוני כ- 20,000 מ"ק, החישוב לוקח בחשבון גם את שיפוע החולות אשר מצטבר בתוך המים.

כמות חול זו תגיע מהחופים הצרים שמצפון לדורבן.

המשמעות תהיה גריפה של חולות מהחופים הנמצאים לאורך קו המצוקים מצפון לשטח הפרויקט.

מכיוון שהחופים צרים, גריפת חולות תביא למצב של התנפצות גלים חזקה יותר על בוהן המצוק, עלול להיווצר נזק למצוק, תהיה טורבולנטיות חזקה על החוף.

טורבולנטיות חזקה על החוף תביא להגברת האירוזיה של החוף (להבדיל ממצב של ספיגת גלים הדרגתית על חוף חולי).

מצורפות בזה תמונות של החוף והמצוקים הנמצאים מצפון לשטח הפרויקט ואשר עלולים לעבור אירוזיה.

Ehud Mechrez



Coastal & Marine Engineering

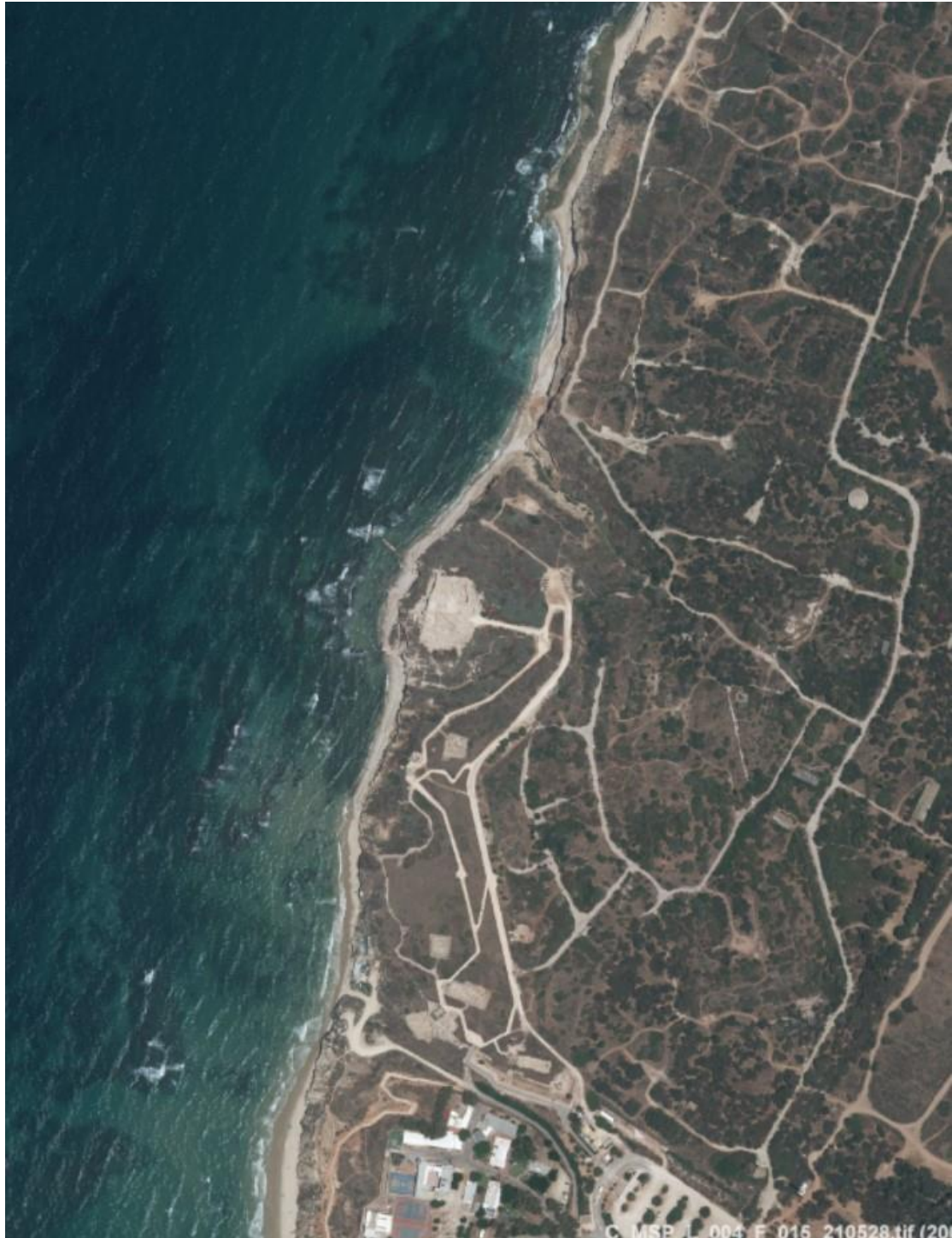


תמונה 14 - הערכה של אזור התפצלות הזרם מצפון לדורבן (סערות ברכיב דרומי) ,
הערכה של התפתחות אירוזיה של החופים לכיוון צפון

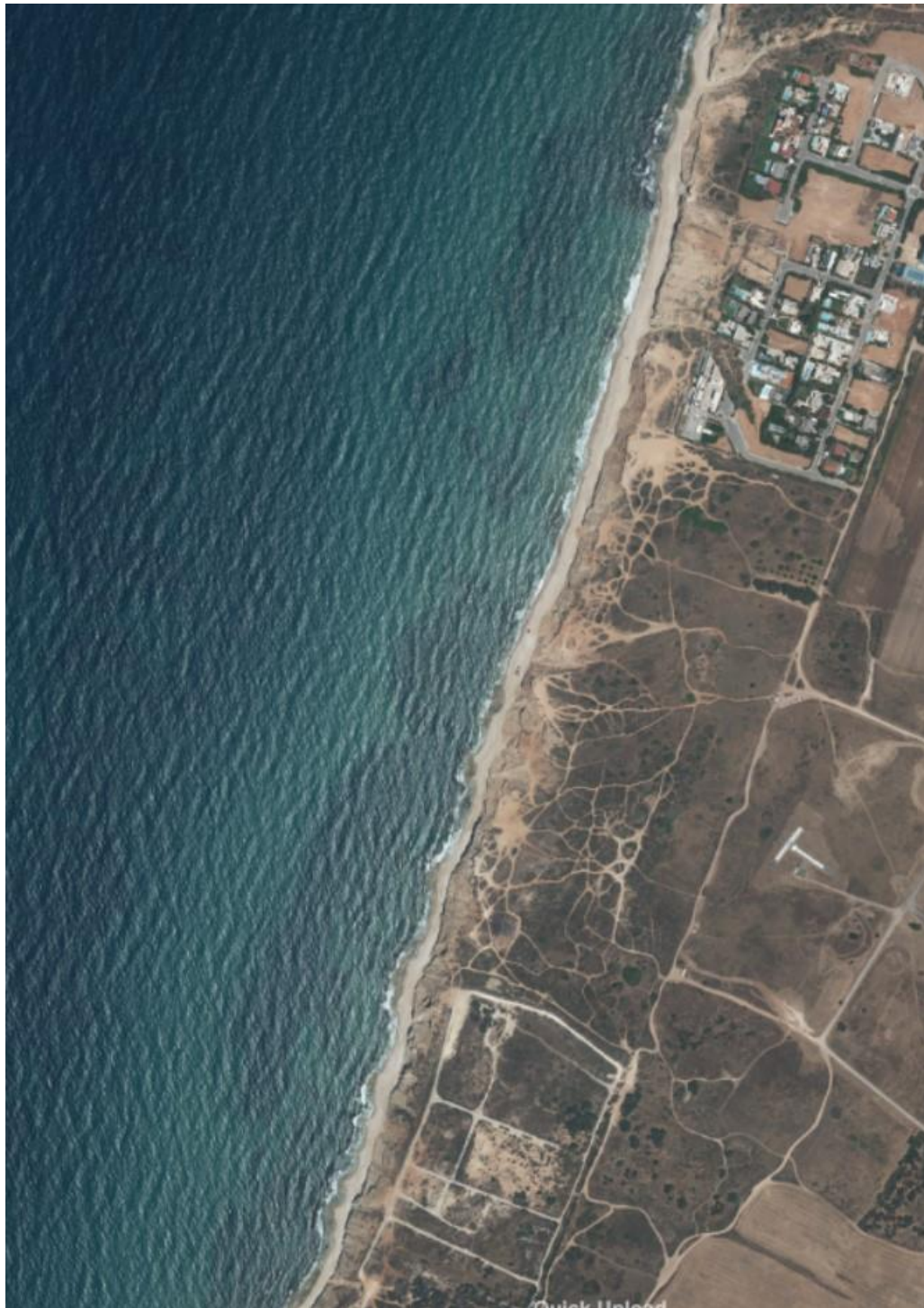
Ehud Mechrez



Coastal & Marine Engineering

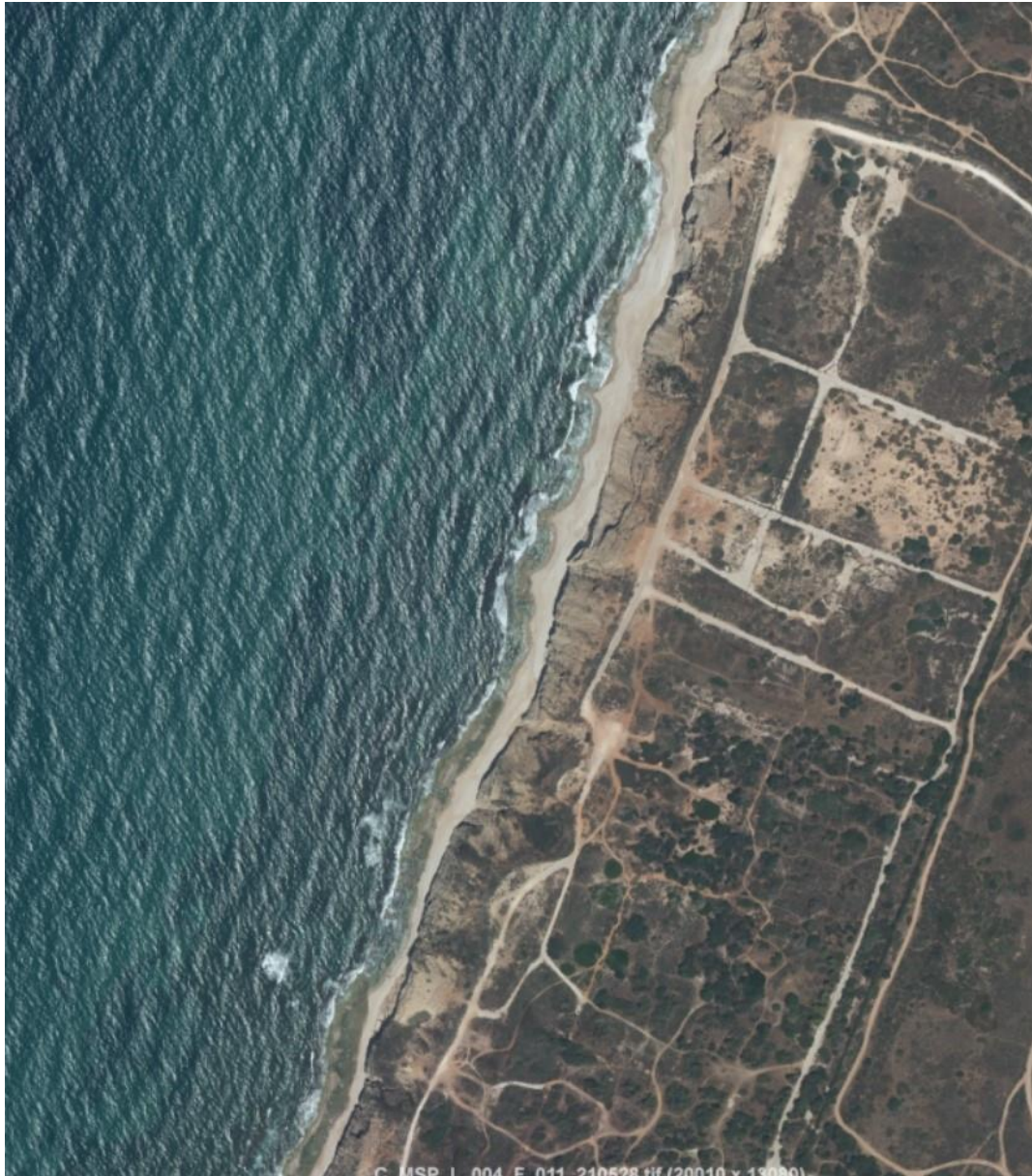


תמונה 15 – חופים מצפון לפרויקט שעלולים לעבור אירוזיה, חוף הרצליה צפון, החוף שמצפון לאפולוניה, החופים צרים במיוחד, 10-15 מטר, 28.5.2021



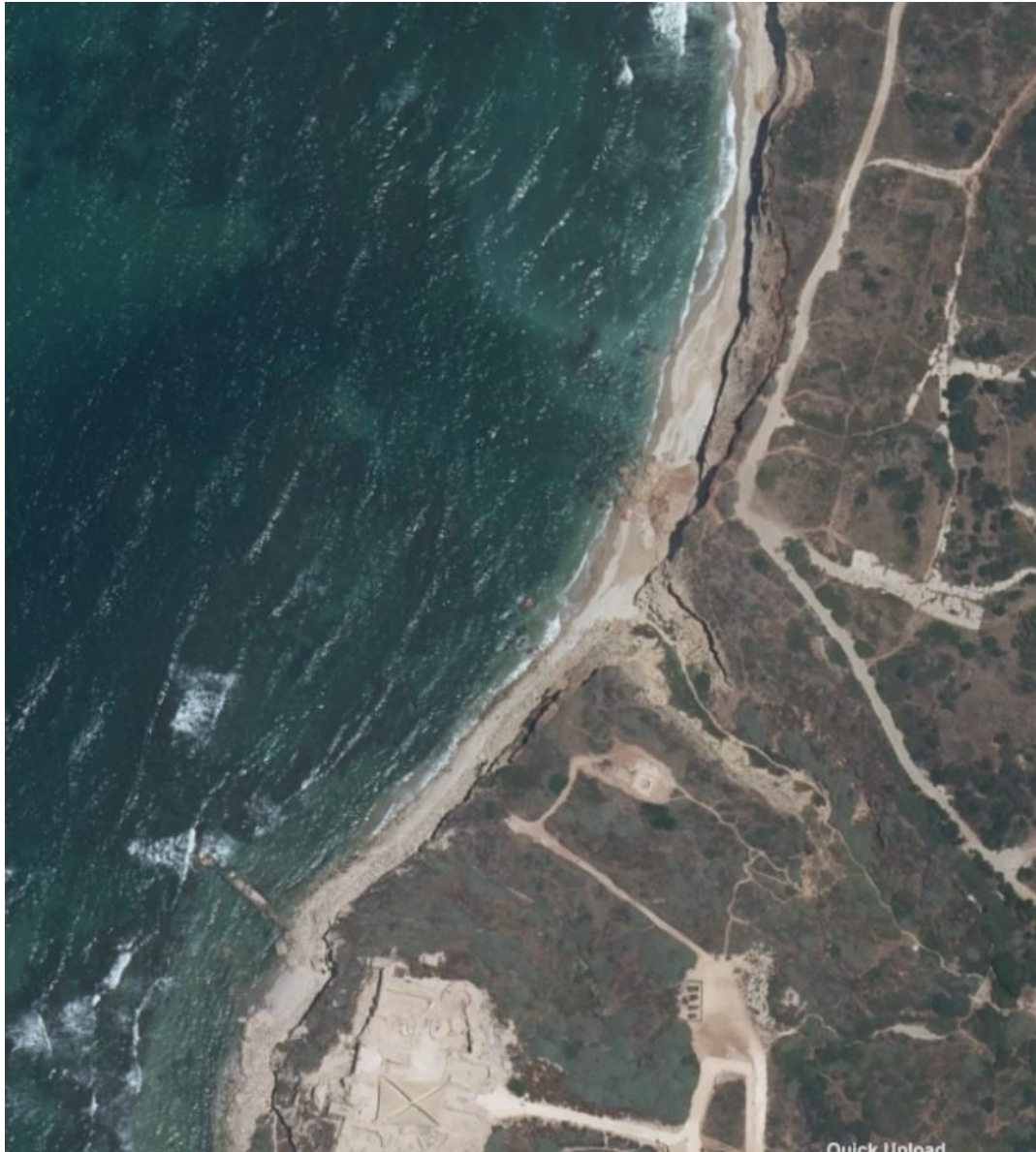
תמונה 16 – חופים מצפון לשטח הפרויקט שעלולים לעבור אירוזיה, 28.5.2021

מצפון לאפולוניה ועד ארסוף



תמונה 17 – החוף מצפון לאפולוניה שעלול לעבור אירוזיה , 28.5.2021

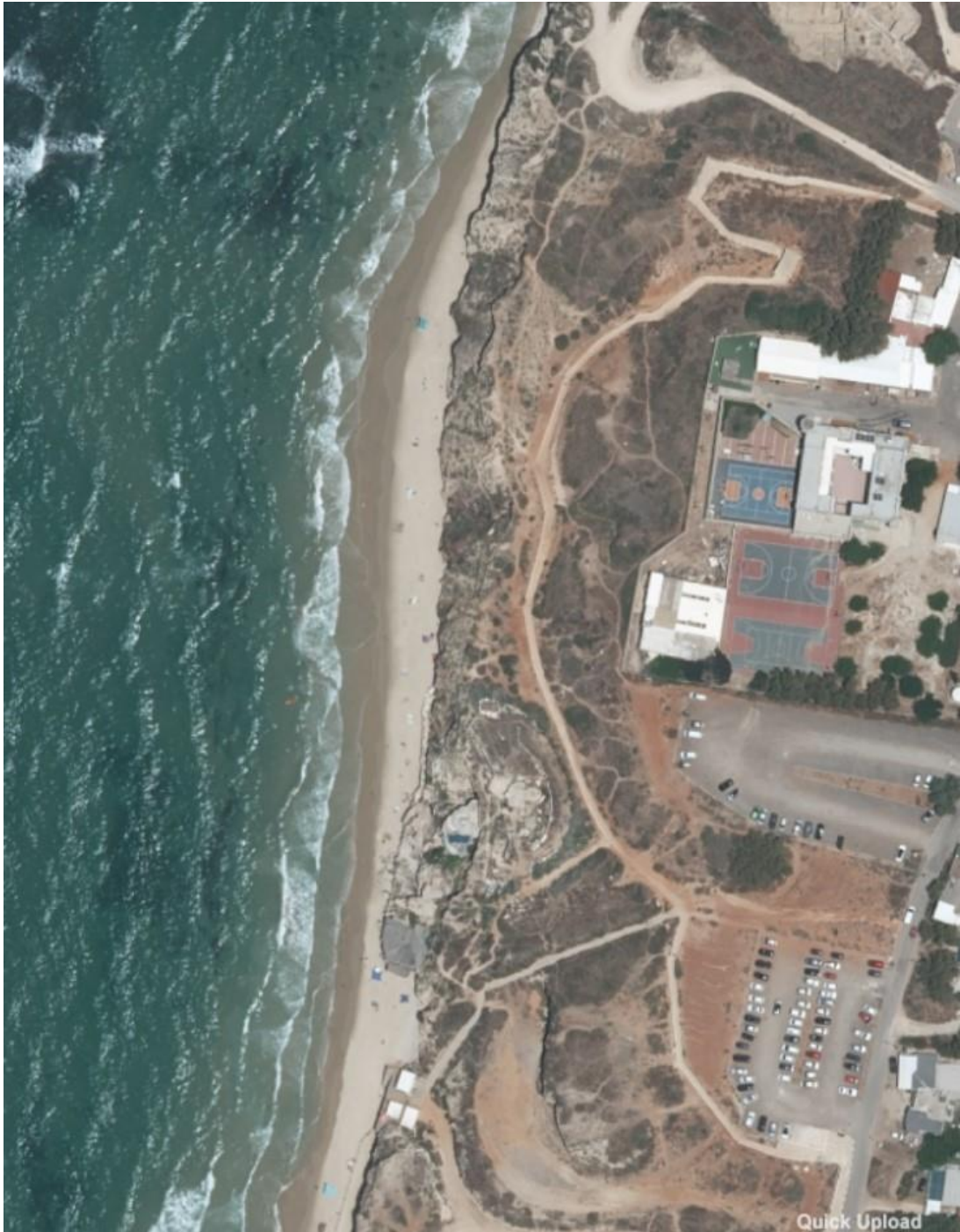
חופים צרים , מצוקים גבוהים



תמונה 18 - החוף מצפון לאפולוניה, גלישה של המצוק, 28.5.2021



תמונה 18 א – החוף שמצפון לאפולוניה , גלישה של המצוק , חופים שעלולים לעבור
אירוזיה



תמונה 19 – החוף בהרצליה שעלול לעבור אירוזיה , 28.5.2021

נמצא מצפון לשטח הפרויקט



3.1 דוגמאות של הצטברות חולות בצמוד למבנה ימי

מצורפות שתי דוגמאות של הצטברות חולות בצד מבנה ימי כתוצאה ממצב של צל זרם והתפצלות הזרם החופי .

דוגמא 1 – הצטברות חול מצפון לנמל המפרץ בחיפה (תמונה 3). במקרה זה התהליך בעיצומו , עדין לא הסתיים.

אזור התפצלות הזרם נמצא כמה מאות מטרים מצפון לשורש שובר הגלים.

רוחב החוף ירד לאפס מול חוות המיכלים.

בחופי הקריות ישנה אירוזיה של החוף.

חברת נמלי ישראל עובדת על תכנון שוברי גלים מנותקים מול חופי הקריות על מנת לתקן את תופעת האירוזיה.

דוגמא 2 - הצטברות חולות מצפון לשובר הגלים המישני של בריכת הקרור רוטנברג.

רוחב החוף ירד לאפס במרחק של כ – 200 מטר מצפון . חברת החשמל בצעה הגנות אבן בקו החוף על מנת לשמור על מצב החוף.



תמונה 20 – הצטברות חולות בצמוד לשורש שובר הגלים של נמל המפרץ, אירוזיה מול חוות המיכלים, רחב החוף ירד לאפס, אירוזיה בקריות.



תמונה 21 – הצטברות חול מצפון לשובר הגלים המישני של בריכת הקרור רוטנברג.
רוחב החוף ירד לאפס מצפון להצטברות, חח"י בצעה הגנת אבן.



3.2 מודלים מתמטיים

ע"פ תסקיר ההשפעה על הסביבה :

מצפון לדורבן Y ולאורך 750 מטר הכוללים את הגן הלאומי אפולוניה, קו החוף אינו משתנה ומצפון לדורבן תיווצר הצטברות קטנה.

עם זאת, יש להתייחס לתוצאות מודל כלשהו בזהירות רבה. אומנם, כיול מוצלח מהווה סיכוי גבוה להשיג תוצאות משמעותיות עבור סימולציות המודל. אולם, פתרונות של מודלים ספרתיים, גם כאשר מתקבלים עם דיוק גבוה מהווים במקרה הטוב המחשה של מגמות כלליות של התופעות הפיזיקליות ולכן מאפשרות השוואה מציאותית של חלופות שונות תחת תנאים זהים.

אין להתבסס על מודלים בלבד לקבלת החלטות, יש להתבסס גם על ניתוח תהליכים והשוואה למבני חוף אחרים שנבנו לאורך החוף הישראלי.

4. תהליכים פיסיקליים שאינם באים בד"כ לידי ביטוי בסימולציות מתמטיות

מספר תהליכים אינם באים בד"כ לידי ביטוי בסימולציות מתימטיות.

4.1 השפעת חוף הצר והתנפצות גלים על המצוקים

החופים שמצפון לפרויקט הינם צרים (10-15 מטר). כאשר חופים אלה יעברו אירוזיה , הגלים יפגשו את קו המצוקים. כתוצאה מהתנפצות הגלים על המצוק תיווצר הרחפת יתר של סדימנטים בחוף וחתירה כתוצאה מטורבולנטיות. תהיה הגברה של קצב האירוזיה של החוף.

יתר טורבולנטיות ברצועת חוף צרה במיוחד יוצרת העלמות מהירה של החוף .

מודלים מתימטיים אינם לוקחים בד"כ בחשבון עודף טורבולנטיות בחוף עקב התנפצות גלים.

4.2 היווצרות מצב של רוחב חוף אפס

מצפון לפרויקט החופים הנמצאים לרגל המצוק הם צרים במיוחד ברוחב 10-15 מטר.

בסערות חזקות בעלות רכיב דרומי רוחב החוף עלול לרדת לאפס , תחילה באזור של התפצלות הזרם ואח"כ באזורים נוספים לכיוון צפון.

כאשר רוחב החוף יורד לאפס בתא שטח מסויים , תא השטח איננו מספק חולות להסעת הסדימנטים הנעים לאורך החוף. כתוצאה , אירוזית החוף תלך ותתפשט במהירות לכיוון צפון.

מודלים מתימטיים אינם לוקחים בד"כ בחשבון רוחב חוף אפס ומצב שהחוף איננו מסוגל לספק חולות למערכת ההסעה שלאורך החוף.



4.3 תהליכי אירוזיה בטווח זמן קצר שלאחר הבניה

בטווח הקצר מיד לאחר הבניה יוצר להערכת "שוק סדימנטולוגי".

במקרה של הקמת הדורבן הצפוני תחילה, יוצר מצב של צל זרם, התפצלות זרם וגריפה של חולות לכיוון האזור המוגן מגלים, בצמוד לדורבן ומצידו הצפוני.

כתוצאה, תהיה אירוזיה של החופים שמצפון לפרויקט.

במקרה של הקמת שובר גלים מנותק תחילה, יוצר מצב דומה. גריפה של חולות לכיוון האזור המוגן שיהפוך להיות אזור שיקוע.

לא ניתן לדעתי התמודד עם כמויות החול אשר נעות בסערות ע"י הזנת חול, זה יהיה מעט מידי ומאוחר מידי.

החופים שמצפון לפרויקט הינם צרים, החולות יסחפו, התנפצות גלים ישירות על המצוקים עלולה לפגוע במצוקים.

הסבר נוסף בנושא זה בסעיף 4.3.1



4.3.1 יציאה משיווי משקל סדימנטולוגי של החופים שמצפון לפרויקט

החופים שמצפון לפרויקט הינם צרים במיוחד ורוחבם 10-15 מטר. חופים אלה נמצאים בשיווי משקל סדימנטולוגי עדין. שיווי משקל שנוצר ע"י הטבע.

כאשר רוחב חופים אלה יורד ומתקרר לאפס (באזור התפצלות הזרם) נוצר תהליך נוסף של אירוזיה, אירוזיה עקב התנפצות גלים על קו המצוקים. נוצר מצב של עודף טורבולנטיות בחוף, הרחפה חזקה ותהליכי חתירה.

האזור שלאורכו רוחב החוף שואף לאפס הולך וגדל בהדרגה. חופים שהגיעו לרוחב אפס אינם מספקים חולות למערכת הסעת החול שלאורך החוף, כתוצאה, האירוזיה מתפשטת לחופים סמוכים (במקרה זה לכיוון צפון). חופים ברוחב אפס "מדביקים" חופים סמוכים.

הקמת הפרויקט תשפיע על החופים שמצפון ועלולה להביא למצב של יציאה משיווי משקל סדימנטולוגי שיצר הטבע והחזיק מעמד אלפי שנים.

קשה מאד לדעתי לצאת מהמצב ע"י הזנת חולות.

נדרשת כמות גדולה מאד של הזנת חול על מנת לבנות מחדש חופים שירדו לרוחב אפס.

יש לבנות את החוף מחדש כולל את כל השיפוע לכיוון המים העמוקים ולעשות זאת בו זמנית לאורך כל רצועת החוף שנפגעה.

אין וודאות שאכן יצליח.



4.4 יצירת אזורי שיקוע גדולים לחולות

הקמת מערך של שוברי גלים מנותקים בהרצליה עלול להביא למצב של יצירת אזורי שיקוע נרחבים לחולות אשר נעים לאורך החופים ובקרקעית הים.

הזנת החול לא בהכרח תהיה בכמות מספקת, יתכן שלא יהיו מקורות חול מספיקים, יתכן שהסימולציה לגבי כמויות החול שיש להזין איננה מדוייקת.

במצב זה הפרויקט ימשוך כל גרגר חול מכל שטחי הים והחופים, מצפון ומדרום ויהפוך להיות אגן שיקוע ענק.

ההשפעות על החופים מצפון ומדרום עלולות להיות נרחבות.



5. ניטור ותוכנית תחזוקה

5.1 מתוך התסקיר בנושא ניטור ותחזוקה

לפיכך, ברור כי ניטור מקיף לאחר בניית המבנים להגנה הינו הכרחי, על-מנת שניתן יהיה לערוך השוואות בין ההתפתחות בפועל לזו החזויה. על בסיס התוצאות שהתקבלו נראה כי בחלוף שלוש שנים מהשלמת העבודות ניתן יהיה לנתח את תוצאות הניטור לתוצאות המודל. ניתוח זה יאפשר גיבוש תכנית תחזוקה מקיפה ולהפעיל אמצעים מתאימים להפחתת ההשפעות השליליות, באם יהיה צורך.

מומלץ שתכנית הניטור תכלול ביצוע מיפויים שנתיים של כל רצועת החוף מהמרינה עד לאפולוניה בצפון וכן מדידת פרופילים של קדמת החוף וקרקעית מאחורי כל אחד משוברי הגלים. כמו כן, מומלץ להציב מערך של שתי מצלמות לניטור שינויים בקו החוף.

התייחסות לנושא ניטור ותחזוקה

תהיה אירוזיה להערכתני של החופים שמצפון לפרויקט . בקטעים נרחבים רוחב החוף ירד לאפס.

יהיה קשה לתקן את המצב.

חולות שיוזנו לא יהיו בהכרח יציבים, החולות המוזנים ינועו בסערות או שיעלו לתרחיף עקב התנפצות גלים על המצוקים וינועו למים עמוקים.

6. השפעות סדימנטולוגיות על החופים שמדרום , חופים בתחום העיר תל-אביב

קיים חשש שלפרויקט תהיה השפעה גם על חופים הנמצאים בתחום העיר תל-אביב , חופים אשר נמצאים מדרום למרינה.

מאזן **הסעת החולות נטו** בסמוך לחוף הרצליה הינו כאמור מצפון לדרום. העדויות לכך הן הצטברות החולות ההדרגתית מצפון למרינה.

חולות אשר נעים לאורך החוף יצרו במשך השנים מנגנון עקיפה של המרינה מצד מערב , במים עמוקים יותר. החולות מגיעים בדרך ארוכה ומייגעת אל הצד הדרומי של המרינה ואל החופים הנמצאים מדרום , חופי ת"א , חוף הצוק.

מנגנון עקיפה מסוג זה (by-pass) יוצר דרך עוקפת מסביב למרינה המאפשרת לחולות להגיע דרומה .

סערות גלים חזקות מכיוון צפון מניעות חולות על קרקעית הים ובתרחיפים בעומקים של 5-7 מטר ממערב לשובר הגלים של המרינה בהרצליה לכיוון דרום.

הקמת פרויקט של שוברי גלים מנותקים בחופי הרצליה תיצור הרחבה משמעותית של החסימה מצפון אשר תעצור חולות לנוע לכיוון דרום אל עבר חוף הצוק.

עלולה להיות לכך השפעה על המצב בחוף הצוק אשר נמצא במגמת אירוזיה מזה שנים רבות. **רצועת החוף וקו המצוקים בחוף הצוק עלולים להפגע.**

חולות אשר מגיעים מצפון יתקשו לעבור את המערך של שוברי הגלים המנותקים של הרצליה. אספקת החול לחוף הצוק בת"א תקטן מאד.

השפעה מסוג זה על חוף הצוק לא נבדקה.

נקודה נוספת

בשנים האחרונות נראה שיש התאוששות של רוחב החוף באזור הצוק. הדבר נובע כנראה מהעובדה שישנה התרחבות של החוף בהרצליה מצפון למרינה והצטברות של חולות גם בתוך המים עד לעומקים 5-6 מטר. במצב זה העקיפה של חולות את מבנה המרינה מצפון לדרום התחזקה.

הקמת הפרויקט ישנה מצב חיובי זה. המצב באחד מחופי הרחצה החשובים של ת"א עלול להחמיר מאד.

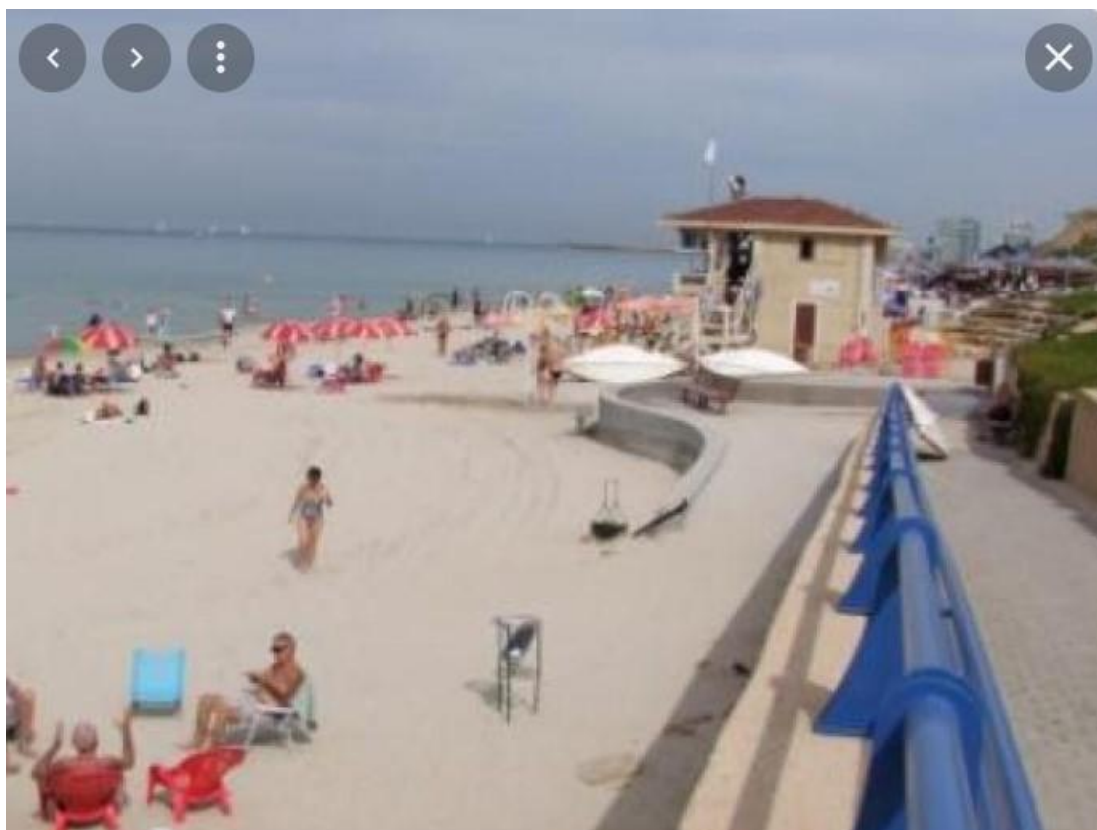


תמונה 22 – הסעת החולות נטו בחוף הרצליה, הערכה של מעקף החולות ממערב למרינה והזנה של חופי ת"א. הקמת הפרויקט עלולה להקטין את הזנת החול דרומה.



תמונה 23 - חופים רחבים מצפון למרינה , חופים צרים מדרום למרינה

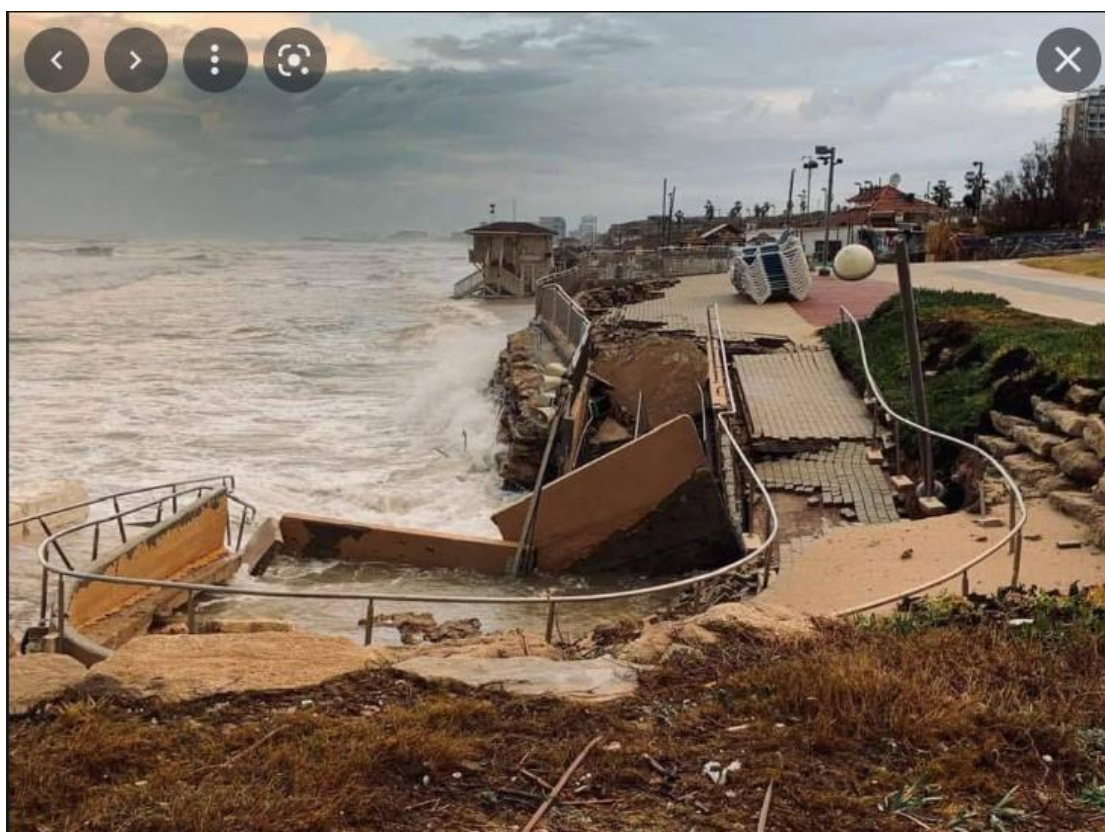
נראה שהסעת הסדימנטים נטו לאורך החוף היא מצפון לדרום. הקמת שוברי גלים מנותקים בהרצליה עלולה להביא להפחתה של כמות החול הנעה דרומה.



תמונה 24 – חוף הצוק בשנים שלפני הקמת המרינה



תמונה 25 – חוף הצוק לפני כעשר שנים, חוף צר ברוחב 5 מטר



תמונה 26 – חוף הצוק בסערות חורף 2019

7. חישוב כמות הסעת חולות בסערה

החישוב נעשה על מנת לתת הערכה לגבי כמויות החול אשר נעות לאורך החוף בסערה חזקה.

בשרטוט המצורף מוצגת הגדרה של רצועת המישברים, התפתחות זרימה לאורך החוף בתחום רצועת המישברים והתפלגות גובה הגלים.

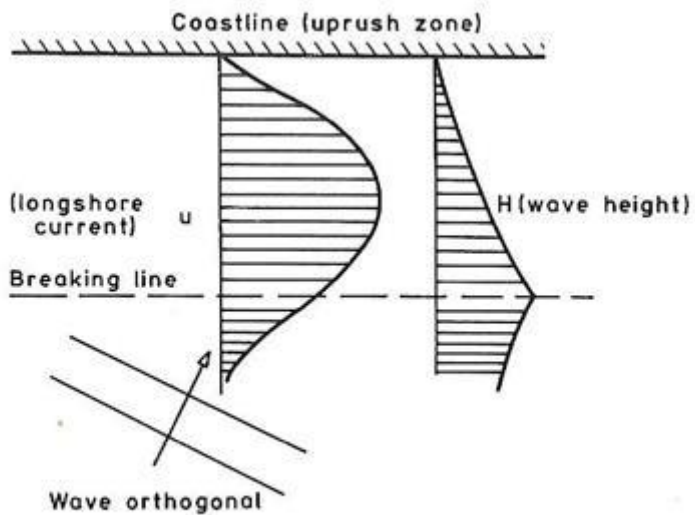


Fig. 4.6 Longshore current and wave height distribution across the surf zone

שרטוט 1 - התפתחות זרמי חוף בתחום רצועת המישברים

את הסעת החול בתחום רצועת המישברים ניתן להעריך ע"י נוסחת CERC



$$S = 0.014H_0^2 c_0 k_{r_{br}} \cdot \sin \varphi_{br} \cdot \cos \varphi_{br} \quad (4.38)$$

where $[S] = \text{m}^3/\text{s}$, H_0 is a measure of wave height in the open sea, c_0 is the wave velocity in the open sea, $k_{r_{br}}$ is the refraction coefficient on the breaking line and φ_{br} is the angle between the coast and wave crests on the breaking line. For $[S] = \text{m}^3/\text{year}$, the coefficient $A = 0.44 \times 10^6$. For annual wave frequency f , (4.38) becomes

$$S = 0.44 \times 10^6 H_0^2 c_0 k_{r_{br}} \cdot \sin \varphi_b \cdot \cos \varphi_{br} \cdot f \quad (4.39)$$

הפרמטרים בנוסחה הם גובה הגל, זווית חזיתות הגלים בגבול רצועת המישברים ומהירות התקדמות הגל.

עבור גובה גל של 5 מטר (במים עמוקים), זווית בגבול אזור המישברים של 20 מעלות (סערה מכיוון דרום מערב בחוף הרצליה) ומהירות התקדמות גל של 15 מטר לשניה, מתקבל מהחישוב 2 מ"ק לשניה.

2 מ"ק לשניה זו כמות החול שנעה צפונה או דרומה בתחום רצועת המישברים, בתרחיף או על קרקעית הים.

בסערת גלים שנמשכת יממה תהיה כמות החול שנעה לאורך החוף 172,800 מ"ק.

זוהי כמות חול גדולה ביותר שיכולה לגרום לאירוזיה חזקה וגם להצטברות חולות חזקה.

בהקשר של החופים הצרים שמצפון להרצליה, זוהי כמות חול שיכולה לגרוף את כל החופים שמצפון לפרויקט לאורך רצועה של 2 ק"מ. כל זאת ביממה אחת של סערה חזקה.

8. חישוב הצטברות החולות מצפון לדורבן Y

בתשריט המצורף מתואר מצב החוף שמצפון לדורבן Y



תמונה 24 - הערכה של הצטברות החול מצפון לדורבן Y ואירוזיה של חופים מצפון



הערכה של כמות החול שתצטבר , כ- 20,000 מ"ק חול. ההצטברות עד 60 מטר לכיוון מערב ועד 90 מטר לכיוון צפון.

אזור של התפצלות הזרם כ- 100-200 מטר מצפון לדורבן. באזור התפצלות הזרם רחב החוף יהיה אפס.

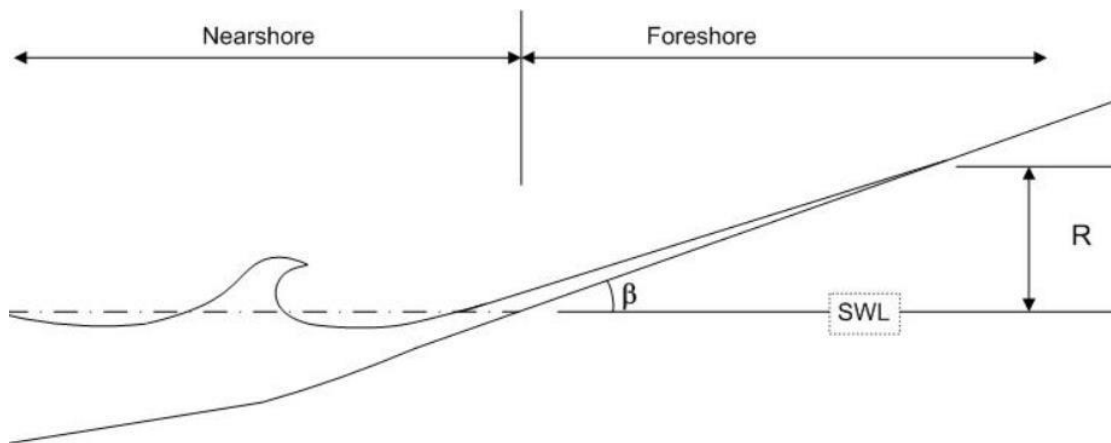
עלולה להתפתח אירוזיה של החופים לכיוון צפון.

כאמור , די בסערה חזקה אחת על מנת לגרוף חלק גדול של החול מהחופים שמצפון לכיוון צל הדורבן.

9. חישוב מרחקי הצפת החוף בהרצליה (waves run up) והערכה של עוצמת הגעת הגלים לקו המצוק

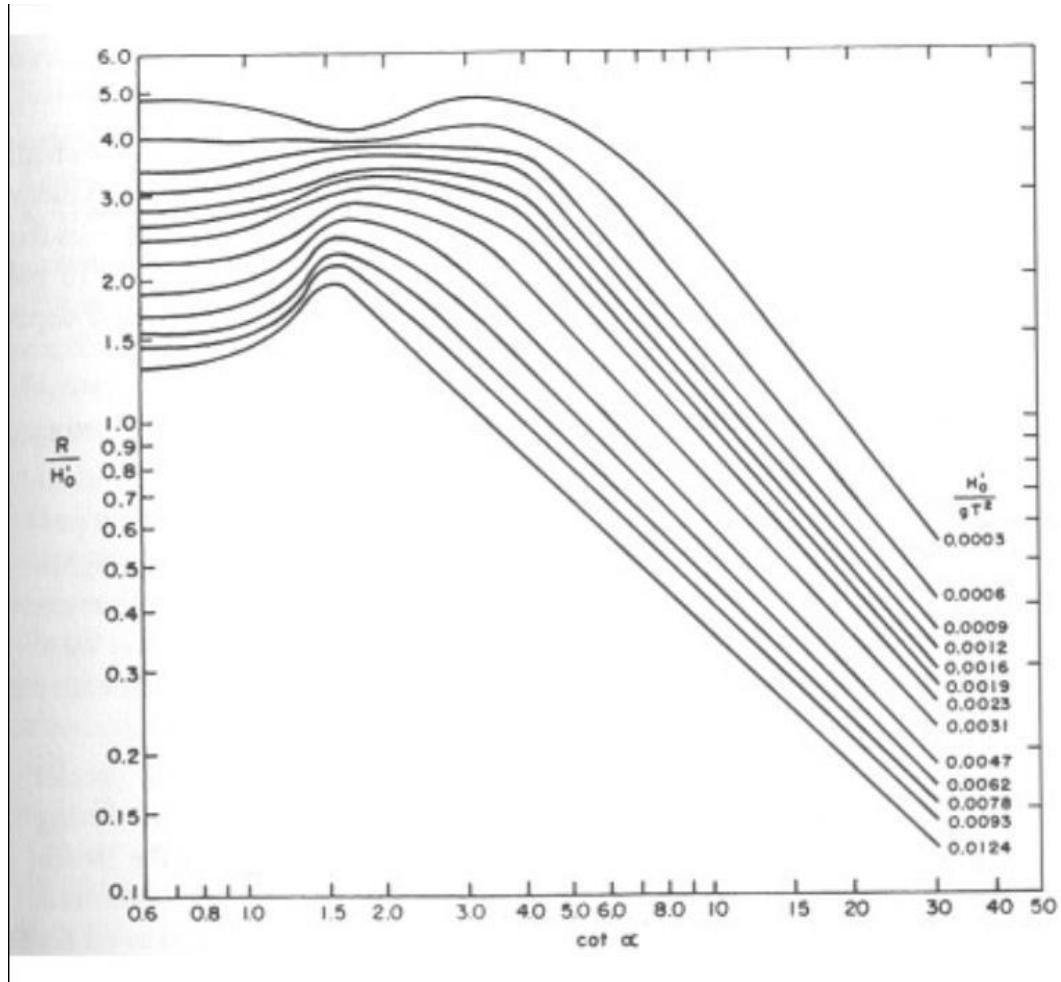
9.1 נוסחת CERC

מרחק הצפת הגלים מוגדר כמרחק בחוף אותו מציפים הגלים בזמן סערה.



שרטוט 2 - ריצת גלים בסערה והרום R אליו הם מגיעים

את R ניתן לחשב באמצעות נמוגרמת החישוב של CERC (שרטוט 3)

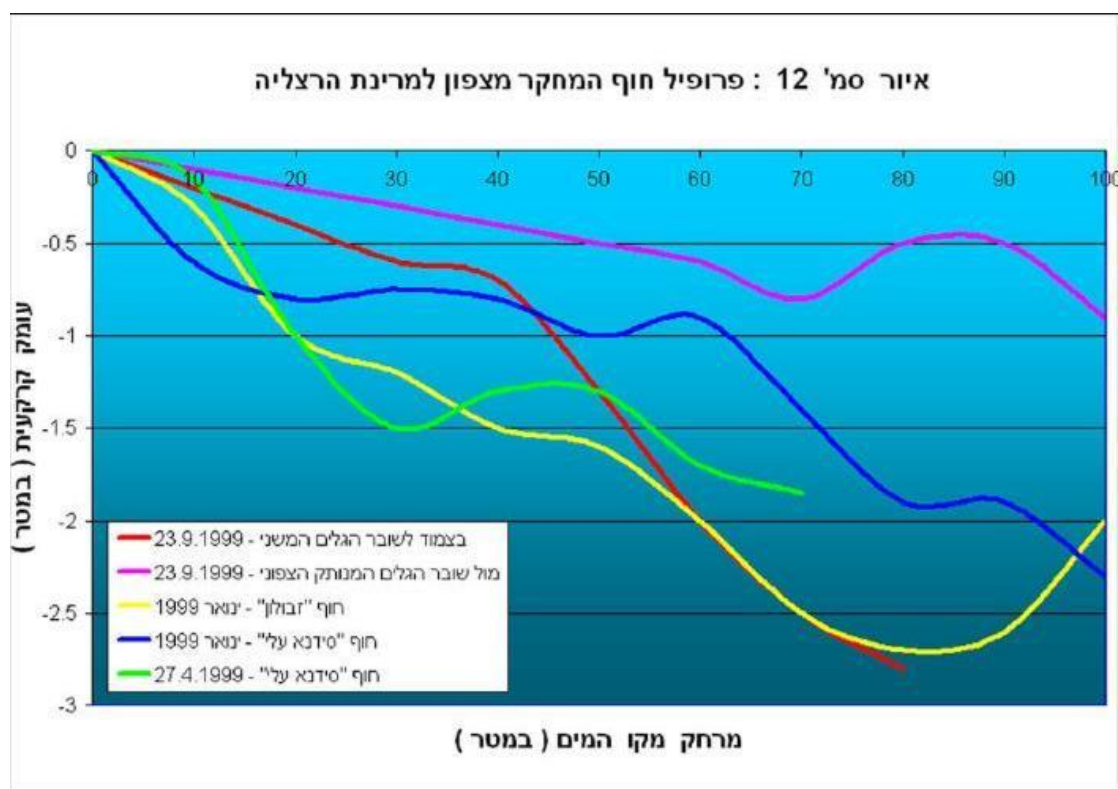


שרטוט 3 : נומוגרמת cerc לחישוב ריצת גלים בחוף

הרום שאליו מגיעים הגלים R תלוי בשיפוע החוף, בגובה הגל (H) ובתקופת הגל.

9.2 שיפוע החוף בהרצליה

שיפוע החוף בהרצליה הינו מתון , 1-2% בלבד , מצורף קטע ושרטוט מתוך עבודת המחקר של פרופ' דב צביאלי .



2. בתאריך 23.09.1997 נמדדו בחוף המחקר שני פרופילים על מנת לקבל הערכה לצורת פרופיל החוף בסתיו, בקטע החוף הסמוך מצפון למרינה (קטע חוף המדגם 4). הפרופילים נמדדו בניצב לקו החוף, מקו המים ועד מרחק 100 מ' ממנו. פרופיל א' נמדד במרכז הסהרון החולי, הצמוד מצפון לשובר הגלים המשני של המרינה. פרופיל ב' נמדד מול מרכז שובר הגלים המנותק הצפוני (ראה איור 12). ראוי לציין כי בזמן המדידה (11 AM) גובה גלים בחוף היה נמוך 30-40 ס"מ. תוצאות המדידה מראות כי השיפוע הממוצע (מקו המים ועד מרחק 50 מ' בכיוון הים) של פרופיל א' הוא 2%, ואילו השיפוע הממוצע של פרופיל ב' הוא 1%.

שיפוע החוף בהרצליה , ע"פ עבודת המחקר של פרופ' דב צביאלי , 1-2%



שיפוע החוף המתון מקטין מאד את ריצת הגלים בחוף ואת הגובה המקסימלי שאליו יגיעו.

הרום אליו מגיעים הגלים בתנאי סערה חזקה בחוף הרצליה הינו 0.1 מגובה הגל , בהתאם לנומוגרמת CERC . יש להוסיף לכך את גאות הסערה .

קו המצוקים נמצא ברום של כ- 1.5 מטר .

גלים מגיעים בזרימה חלשה אל קו המצוקים. אין בכוחה של זרימה זו לגרום לאירוזיה ימית של המצוק.

בצמוד לבוהן המצוק ישנה שכבה של אבן בגודל 10-15 ס"מ שהונחה כנראה ע"י העירייה. נראה ששכבת אבן זו מספיקה על מנת לעצור את הגל החלש שמגיע למצוק.

לא נראו סימני בליה מגלים בתחתית המצוק.

בקטע החוף של סידנא עלי המצב שונה וישנה בליה מגלים בתחתית המצוק , רוחב החוף 25-30 מטר בלבד.

גם בחופים הצפוניים יותר היכן שרוחב החוף 10-15 מטר ישנה בליה של תחתית המצוק.

10. עקרי הדברים

10.1 מספר שנים ספורות לאחר הקמת המרינה עבר החוף בהרצליה אירוזיה משמעותית כתוצאה מ "שוק סדימנטולוגי", תנועת חולות חזקה לכיוון שוברי הגלים המנותקים.

במהלך 25 השנה לאחר מכן הלך החוף והתרחב, כיום רוחב החוף 40-50 מטר ובאזור סידנא עלי 25-30 מטר (דומה למה שהיה לפני הקמת המרינה). החוף נמצא בתהליך התרחבות שכן מאזן ההסעה נטו הוא מצפון לדרום, חולות הולכים ומצטברים מצפון למרינה שמשמשת כמחסום.

10.2 רוחב רצועת החוף הינו מספיק על מנת שגלי סערה כמעט ואינם מגיעים לקו המצוקים. שיפוע החוף מתון ורוב הגלים נבלמים לפני קו המצוקים. לשיפוע החוף המתון (1-2%) בהרצליה חשיבות רבה בהגנה על המצוקים ובהחלשת הגלים.

10.3 לא נראו סימני בליה ע"י גלים בבוחן המצוק. זאת למרות שעברו 25 שנה שבהן רוחב החוף היה צר יותר (כ- 20 מטר פחות בשנת 2010).

10.4 הקמת פרויקט שוברי גלים מנותקים + דורבן Y בחוף הרצליה עלולה לגרום להפרה סדימנטולגית אשר תשפיע על החופים הצרים שמצפון לפרויקט עד סמוך לארסוף.

אירוזיה בחופים הצפוניים תהיה תוצאה של יציאה משיווי משקל סדימנטולוגי, צל גלים ויצירת אזור שיקוע מצפון לדורבן Y, טורבולנטיות חזקה בחופים עקב התנפצות גלים על המצוק.

10.5 הקמת שוברי גלים מנותקים בחוף הרצליה תגרום להפחתה נכרת בכמות החולות אשר נעים מצפון לדרום, עוקפים את המרינה ומגיעים לחוף הצוק בת"א.

קיים חשש להחרפה של מצב האירוזיה בחוף הצוק. קו המצוקים בחוף הצוק עלול להפגע.

10.6 מודלים מתימטיים של קו החוף בד"כ לא לוקחים בחשבון חופים שיורדים לרוחב אפס וטורבולנטיות חזקה עקב התנפצות גלים על המצוק.

10.7 לא בוצע מודל על מנת לחזות תנועת סדימנטים בקרקעית הים והשפעות על חוף הצוק שמדרום.



10.8 אירוזיה נמצאת כיום בצד הדרומי של המרינה , לא מצפון. החופים מצפון מתרחבים ואין סימני בליה מגלים בתחתית המצוק למעט בחוף סידנא עלי.

10.9 מאזן ההסעה נטו בחוף הינו כנראה בתחום השגיאה של מדידות הגלים, קשה לפי זה לקבוע את כיוון ההסעה במודל כלשהוא.

10.10 הפרויקט עתיד להבנות בחופים שאין בהם אירוזיה ואין בליה של המצוק מגלים.

10.11 הפרויקט עלול לגרום לאירוזיה של חופים מצפון ומדרום ולגרום להגברת ההתמוטטות של המצוק החופי. מצפון בתחום המועצה דרום השרון , מדרום בתחום העיר תל-אביב , בחוף הצוק.

10.12 יש חלופות שבכוחן להרחיב חופים באופן מקומי ומבלי לפגוע בחופים סמוכים , ניתן לבדוק אותן בהקשר הרחב של חופי הארץ וגם עבור האירוזיה בחוף הצוק.



11. סכום ונקודות מודגשות

מבדיקה הנדסית שערכנו , אין בליה ימית של תחתית המצוק (למעט בסיסנא עלי לאורך כ- 300 מטר היכן שהחוף הולך וצר).

יש בליה של המצוק ע"י רוחות ויש סכנת אבנים שעלולות להתדרדר.

גלים כמעט ואינם מגיעים למצוק בגלל שיפוע החוף המאד מתון והחוף הרחב.

במידה ותגיע למצוק זרימה כלשהיא היא תהיה חלשה מאד ואין בכוחה לגרום נזק למצוק הכורכר הקשה.

הסעת החולות נטו בחוף הרצליה היא מצפון לדרום , לכן החוף מתרחב ויוסיף להתרחב.

אין צורך להגן על החוף מצפון למרינה היכן שהחוף מתרחב באופן טבעי .

מערך שוברי גלים מנותקים מצפון למרינה עלול לפגוע ברצועת החופים הצרים שמצפון לאורך מרחק ניכר.

חולות יצטברו מצפון לדורבן (אזור שיקוע) וזה יהיה הטריגר להפרת שיווי המשקל הסדימנטולוגי של החופים מצפון.

שוברי הגלים עלולים להפחית את הסעת הסדינטיים לכיוון דרום ולגרום לאירוזיה נוספת בחוף הצוק.

במצב של חוף ברוחב 40-50 מטר כמו בהרצליה כאשר החוף במגמת התרחבות , ניתן להקים בעורף החוף במספר מוקדים שרותי חוף , ציליות ושמשיות.



נספח א

רקע הנדסי



אירוזיה של חופים בעקבות הקמת מבנים ימיים בארץ – הבסיס המדעי

אירוזיה של חופים נוצרת עקב שינוי בכיווני חזיתות הגלים לאחר הקמת מבנה ימי ועקב היווצרות מצב של התפצלות הזרם בסמוך למבנה.

בעקבות הקמת מבנה ימי נוצר אזור של "צל גלים" בצמוד למבנה ונוצרת זרימה של מים לעבר האזור המוגן.

בצמוד למבנה בצד מורד הזרם מצטברים חולות, לאחר מכן הזרימה מתפצלת וקו החוף נסוג נסיגה חזקה. מעבר לקטע התפצלות הזרימה ולאורך מרחק של מספר ק"מ קו החוף הולך וחוזר בהדרגה למצבו המקורי.

השינוי בכיווני חזיתות הגלים בסביבת מבנה ימי והתהליך של תנועת החולות לאורך החוף בהשפעת הגלים ניתן לתאור ע"י משוואה דיפרנציאלית – משוואת קו החוף.

הפתרון של משוואה זו הוא פתרון אסימפטוטי דהיינו מרחק ההשפעה של המבנה הימי על קו החוף הוא מרחק גדול.

ככל שהמבנה הימי גדול יותר כך יהיה צל הגלים משמעותי יותר וכך יהיה גם מרחק ההשפעה שלו.

ניתן להעריך על בסיס ניתוח תצלומי אוויר שמרחק ההשפעה של מבנה ימי הינו בערך פי 6 ממרחק המבנה לתוך הים (שרטוט 1).

ההשפעה של מבנה ימי איננה רק על קו החוף אלא על פרופיל החוף כולו ממזרח למערב שמשנתנה. ישנה הגדלה של עומקי המים מול קו החוף בכל אזור המישברים.

השינויים בקו החוף בסביבת שובר גלים מנותק

שובר גלים מנותק יוצר שינוי גדול בכיווני הגלים וצובר חולות רבים מול השובר.

נוצרת אירוזיה בצד מורד הזרם והצטברות בצד מעלה הזרם (שרטוט 2).



משוואת קו החוף – הבסיס הפיסיקלי

משוואת קו החוף היא ביטוי מתימטי של תהליכים פיסיקליים המתרחשים בחוף.

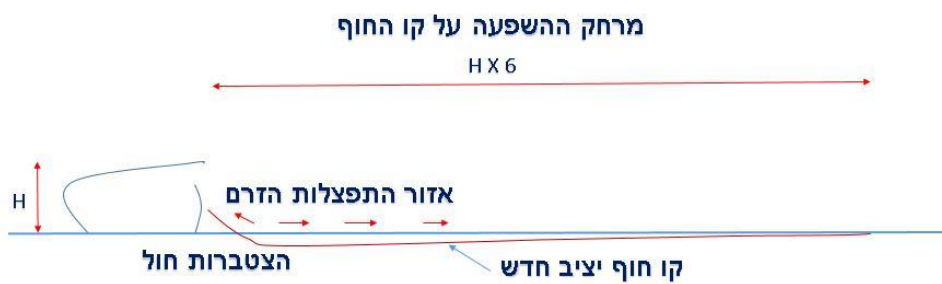
המשוואה נותנת אפשרות לחזות מה יהיו השינויים בקו החוף בעקבות הבניה של מבנים ימיים.

רוב המודלים הקיימים מתבססים על משוואה דומה אשר מתבססת על העקרונות הבאים :

הסעת החולות לאורך החוף נעשית ע"י זרמים המושרים ע"י גלים. זווית הגלים וגובה הגלים הם אלו שקובעים את עוצמת הזרם.

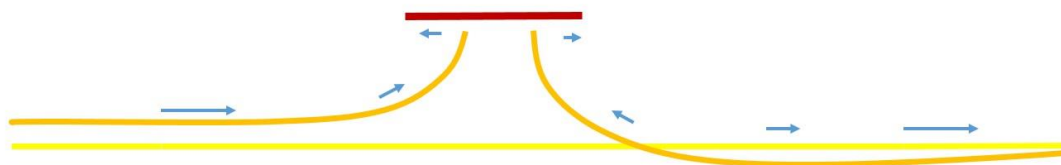
כאשר הזרם שלאורך החוף מתחזק החוף נמצא במצב אירוזיה. כאשר הזרם לאורך החוף נחלש החוף נמצא במצב הצטברות (שרטוטים 3 ו-4).

מה שקובע אם החוף יתרחב או יסוג הוא הגרדינט (השינוי) של מהירות הזרם. גרדינט חיובי של הזרם יוצר אירוזיה , גרדינט שלילי יוצר הצטברות.



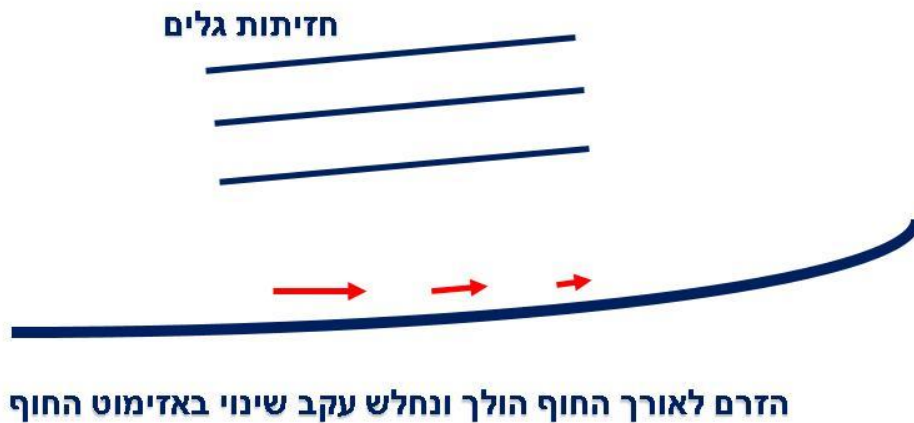
שרטוט 1 - השפעת מבנה ימי על קו החוף במורד הזרם

שובר גלים מנותק , הצטברות חול במעלה הזרם
התפצלות זרם ואירוזיה במורד הזרם



שרטוט 2 – השפעת שובר גלים מנותק על קו החוף

חוף במצב הצטברות הזרם משקע חול



שרטוט 3 - חוף במצב הצטברות , עוצמת הזרם הולכת ונחלשת עקב השינוי באזימוט החוף

Ehud Mechrez



Coastal & Marine Engineering

סכמה של זרימה לאורך החוף עקב גלים
חוף במצב אירוזיה עקב התחזקות הזרם

חזיתות גלים



התחזקות של הזרם



אזור התפצלות הזרם
אירוזיה מקסימלית

שרטוט 4 - חוף במצב אירוזיה, הזרם מתחזק כתוצאה משינוי בכיוון חזיתות הגלים



מראי מקום

- .1
The impact of the Herzliya marina on the width of it's neighboring beaches
Dov Zviely ,Thesis, May 2000
- .2
מצוקי הכורכר של הרצליה – האם שוברי-גלים מנותקים הינם הפתרון הרצוי , ד"ר יעקב ניר
– גיאולוג ימי וחופי , נובמבר 2013
- .3
תסקיר השפעה על הסביבה , חזית הים הרצליה , עורך דני עמיר תכנון סביבתי בע"מ
- .4
בחינה של התמוטטות המצוק החופי במקטע הרצליה בין חוף השרון לאפולוניה במהלך
השנים 2011- 2021 , דו"ח המכון הגיאולוגי , 18.5.2022

