

איים מלאכותיים מול חופי ישראל

מיכאל בייט*

במצוקה הקרקעית הקיימת בחלק ממישור החוף ועלויות הקרקע הגבוהות הועלה פתרון אטרקטיבי שנועד ליצור מרחב גדול יותר בעבור אוכלוסיית גוש דן. הפתרון שהוצע היה להתפשט הימה על-ידי יצירת איים מלאכותיים. הרעיון של יצירת איים מלאכותיים יושם במספר מקומות בעולם ובהם יפן, סינגפור והונג קונג, וכן בהולנד, שם יובשו חצאי איים או שלוחות ים. הצעות ליישם את הרעיון גם בחופי הים התיכון, בעיקר מול חופי תל-אביב, קיימות מאז שנות השישים, כאשר הוצע להעביר את שדה דב לאי מלאכותי. לאחרונה הוחל בטיפול נמרץ יותר בנושא בעקבות חתימת הסכם בין ממשלת הולנד לבין ממשלת ישראל. פרויקט הנדסי כה גדול ורחב היקף דורש משנה זהירות בתכנון והתחשבות בתשתית הגאולוגית של מדף היבשת, במשטרי הזרימה והגלים של הים ובאספקת החולות, שבאים בעיקר מחופי סיני, ומקודם בדלתת הנילוס.

הפרויקט של בדיקת קדם היתכנות (שלב א') לבניית איים מלאכותיים מול חופי ישראל הנו פרויקט משותף הולנדי-ישראלי, והוא פועל יוצא ממזכר הבנה שנחתם בין ראש ממשלת הולנד לראש ממשלת ישראל (ינואר 1996). על בסיס הסכם זה כל צד תרם מיליון דולר לפרויקט, הוקמה מערכת ניהולית ומערכת מקצועית, נקבעו מספר עקרונות לעבודה המשותפת הישראלית-הולנדית ואושרה תכנית עבודה.

* ד"ר מיכאל בייט הוא מנהל מינהל המחקר למדעי האדמה במשרד התשתיות הלאומיות, ויו"ר ועדת ההיגוי הישראלית לפרויקט. המאמר הנוכחי מעובד בעיקרו מדו"ח הביניים אשר הוגש לשר התשתיות באוגוסט 1998.

באוגוסט 1998 הוגש דו"ח^{**} הביניים לשר התשתיות הלאומיות ובסביבות אפריל 1999 יוגש הדו"ח^{**} הסופי. שלב א' של בדיקת קדם היתכנות – מחקר ופיתוח לבניית איים מלאכותיים במדף היבשת של ישראל, קודם עד כה מתוך הסכמה בין כל חברי ועדת ההיגוי המשותפת. בוועדת ההיגוי מטעם ישראל יש נציגים מהמשרד לאיכות הסביבה, מינהל התכנון במשרד הפנים, מינהל מקרקעי ישראל, עיריית תל-אביב, משרד ראש הממשלה והטכניון. המטרה העיקרית, בשלב זה של הפרויקט, הייתה לבחון את אפשרות יישומו ברמה הלאומית, ולכן נבחנו בעיקר ההשלכות הסביבתיות שיהיו ליישומו ונערך מיפוי של מדף היבשת לצורך איתור חומרי מילוי.

מדיניות הממשלה היא, שהאי או האיים יוקמו בידי יזמים באמצעות הון מהסקטור הפרטי.

הנושאים שנבדקו ברמה הממלכתית הם האפשרויות לניצול מדף היבשת של מדינת ישראל מתוך התחשבות בעיקרון של בנייה המשתלבת בטבע, ובאמצעות תכנון ידגדוטי לסביבה. לצורך זה נעשה תיאום מרבי עם הרשויות העוסקות במדף כמו הוועדה למימי חופין והוועדה של משרד התחבורה הממונה על נושא העברת שדה רב לים.

ממצאים ראשוניים

1. נתוני תנועת החולות בחוף ישראל שכנעו את כל המומחים בנושא להסכים פה אחד כי חייבים לאסור כריית חול במדף היבשת ממזרח לרכס הכורכר בעומק מים של שלושים מטר לערך.
2. הסקר הסייסמי והקידוחים שבוצעו במהלך הסקר הגאוטכני מראים כי קיימים מספר אזורים, מערבית לרכס הכורכר הקרוב לחוף, בהם ניתן למצוא מרבצי חול. רוב מרבצי חול אלה נמצא מתחת לשכבת חומר חרסיתי בעובי של מטרים אחדים ואיכות החול בהם נמוכה כלומר המרכיב החרסיתי גבוה. מיקומם של מרבצי החול, עתודות החול בכל אתר, עלויות הכרייה וההשפעות הסביבתיות של הכרייה ייבחנו אחד לאחד ויפורסמו בדו"ח^{**} הסופי.
3. ממצאי הסקר הסייסמי אשר בוצעו במפרץ חיפה בשנים 1975-1977 עובדו מחדש ומצביעים על קיומם של כעשרים מיליון מע"ק של חומר בלתי מלוכד המתאים למילוי. ההשפעות הסביבתיות של כריית חומר מילוי במפרץ חיפה ייבחנו גם הן ויפורסמו בדו"ח^{**} הסופי.

^{**} ראו רשימת הדו"חות בסוף המאמר.

4. ההיקף היחסי של תנועת החולות לאורך חופי ישראל קטן מבחינה גלובלית אבל משמעותי מאוד למימשק החופים של ישראל. הבדיקה הנעשית במסגרת הפרויקט נועדה לבדוק מהם האמצעים הטכניים המקובלים בעולם שאותם ניתן לנקוט לצורך מניעת הפרת האיזון הסדימנטולוגי בגין הקמת מבנים ימיים בקרבת החוף. הקמת איים מלאכותיים מול חופי ישראל באזור מרכז הארץ, בעומקי מים סבירים, תגרום לשינויים בקו החוף, אם לא ינקטו האמצעים הטכניים הנדרשים. נושא זה ייבחן לעומק בשלב ניסויי המודל המפורט הסדימנטולוגי-מתמטי וברו"ח¹ הסופי יומלץ על האמצעים הנדרשים להגנת החופים.

5. מבדיקה כלכלית ראשונית עולה כי מחיר הדיור במטרופולין תל-אביב ובעיר עצמה, הולך וגדל, וכי הוא נובע מעלות מחירי הקרקע הפנויה לבנייה. עובדה זו יש בה כדי להצדיק את המשך בדיקת ההיתכנות של איים מלאכותיים.

6. נבחנו האתרים המועדפים מהבחינה התכנונית-תחבורתית להקמת איים, כשבעדיפות הראשונה ניצב שדה התעופה בים מול תל-ברוך.

עבודות קודמות

האי המלאכותי הראשון, ששטחו 0.5 קש"ר נבנה בנגסקי ביפן ב-1641 ושימש כאכסניה לצוותי הספינות ההולנדיים. משנת 1930 נבנים ביפן איים מלאכותיים בערים טוקיו, יוקוהמה ואוסקה בקצב גדל והולך. כיום יש קרוב לתשעים איים מלאכותיים ביפן בשטח כולל של 560 קמ"ר. המפורסם ביותר הוא נמל התעופה הבינלאומי של קנסי (Kansai) וכן האיים פורט (Port) ורוקו (Rokko) בקובה. נמלים אלה מספקים מידע חשוב על תכנון כולל של התשתית התעבורתית ועמידות האיים ברעידות אדמה. נמל התעופה החדש של הונג קונג – צ'ק-לפ-קוק (Check Lap Kok) ונמל התעופה החדש של סיאול בדרום קוריאה, נבנו גם הם כאיים מלאכותיים וכך גם נמלי התעופה של סינגפור וטייוואן. נמלים אלה מספקים מידע רב חשיבות לאלה העוסקים בתכנון נמלי תעופה בים התיכון, הן מבחינת תהליך ההקמה של האיים ומה שקורה בהם לאחר ההקמה והן מבחינת השפעתם על הסביבה.

בישראל הפעילות בנושא זה החלה בראשית שנות השישים. האדריכל מיכאל קון² ופרופ' מיכאל בורט³ תכננו איים לאורך חופי ישראל ובעיקר מול תל-אביב וחיפה. הגדיל לעשות האחרון, אשר הגה את רעיון "השדרה הכחולה" – הקמת סדרה של איים לאורך חופי ישראל. מיכאל בורט הציע שיטות מקוריות לבניית שוברי גלים ספוגיים ובניית איים אשר לא

1 במסגרת חברת אדריכלות פרטית.

2 במסגרת הטכניון בחיפה.

יזדקקו לחומרי מילוי קונבנציונאליים. הוגו מרום¹ הציע בשנת 1973 להעביר את שדה דב לים מול תל ברוך, וכן הציע להקים איים שישרתו כנמלי תעופה כחיפה ובנתניה ואי משותף לישראל ולפלשתינאים.

למעשה, ב-1973 פורסם מכרו להעברת שדה דב לחצי אי חולי אשר בוטל בגלל מלחמת יום הכיפורים.

לפרויקט הנוכחי קדמה העבודה של גדליה שלף, יורם צימלס, אהרון בועז ומיכאל ורטהיימר מהטכניון, אשר יחד עם קבוצה הולנדית, ובתמיכת חברת החשמל, ביצעו עבודה תכנונית מקיפה לבחינת הנושא. עבודה זו התמקדה באי דמוי טיפה, על מנת להמעיט בנזקים לחופים, בשטח של 1 קמ"ר. עבודה זו הייתה הבסיס למזכר ההכנה אשר קדם לפרויקט הנוכחי. הצעה להקים שרשרת איים במרחק של קילומטר או 1.5 ק"מ מהחוף באזור תל-אביב-הרצליה, הוצגה על-ידי משרד האדריכלים גרטנר, גיבור וקומט. גם האדריכל זאב גולדברג עסק בנושא כאשר פרסם בשנת 1988 מאמר ממצה בנושא "אי ירוק בים".

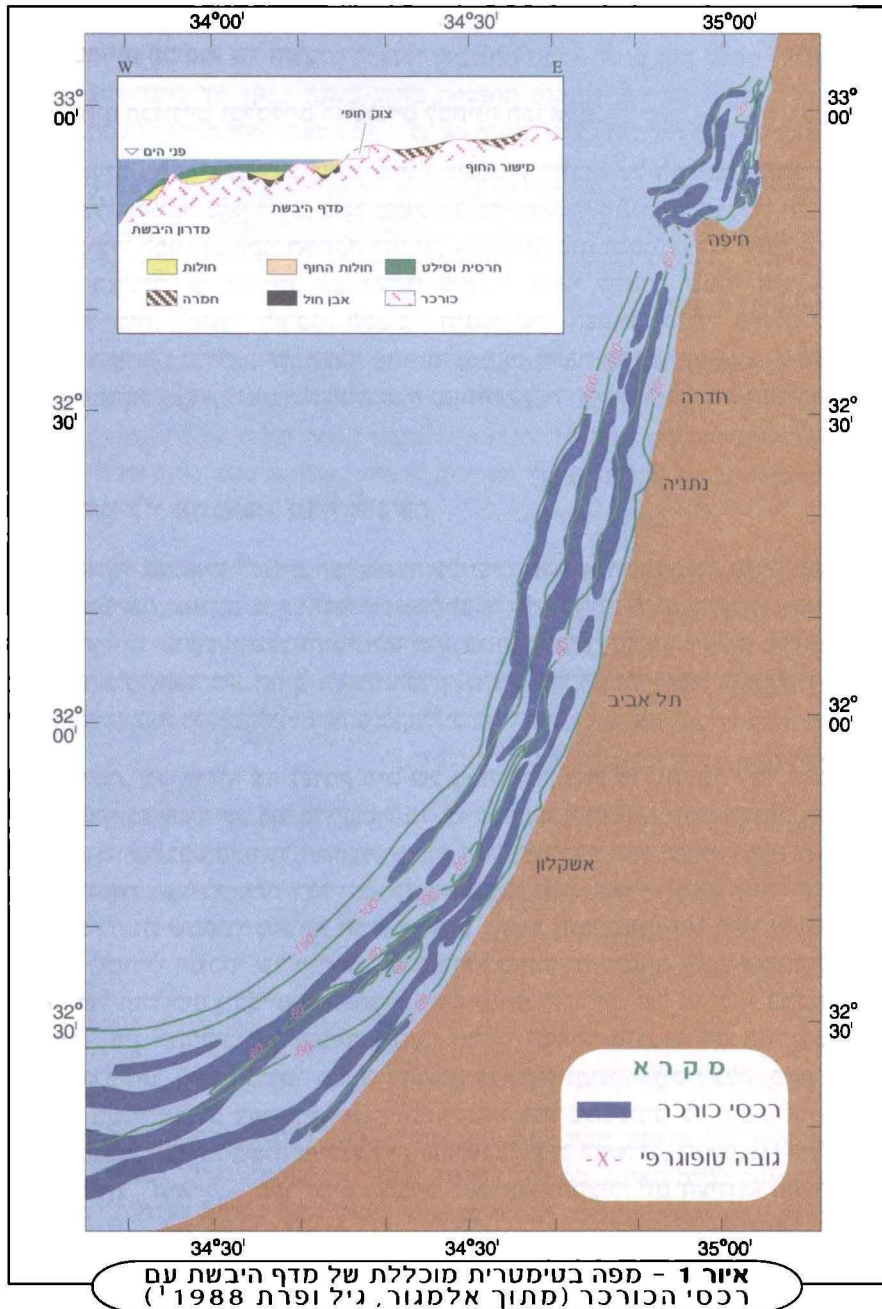
מהות הפרויקט

הרעיון של בניית איים בים התיכון קדם למספר מהנדסים, אדריכלים, מתכנני ערים ויזמים במשך שלושים השנים האחרונות. היוזמות הלכו והתרכבו במשך העשור האחרון, ככל שהתברר שצפיפות האוכלוסין במרכז שפלת החוף, מטרופולין תל-אביב, גדלה והולכת. בתכנית 2020 מציגים תחזיות צפיפות של 4,000 תושבים לקמ"ר בשנת 2020 ומכאן החשיבות שבכיבוש מדף היבשת באיים ובחצאי איים. שטח מדף היבשת, עד לעומק של מאה מטר, הוא כאלפיים קמ"ר, מדרון הקרקע מתון, והתשתית חולית-חרסיתית עם רכסי כורכר. החרסיות מתרבות ככל שמתקדמים מערבה מעבר לרכס הכורכר הראשון המצוי בעומק של כשלושים מטר, ואילו החולות מתרבים ככל שמדרימים לכיוון הדלתא של הנילוס (איור 1).

היום נבדקות האפשרויות לבנות אי, אשר ישמש כנמל תעופה מקומי/אזורי, ששטחו יהיה $800 \times 2,900$ מ' במקביל לחוף ובמרחק כשני ק"מ מאזור תל ברוך, או איים דמויי טיפה ששטחם יהיה שני קמ"ר במרחק 1,200 מ' מהחוף באזור הרצליה, תל-אביב ובת-ים. עיקר העבודה הנעשית בפרויקט הנוכחי היא ליצור כלים ולספק נתונים להערכת אפשרויות הבנייה במדף היבשת ועל-כן השאלות המרכזיות המנחות את החוקרים הן:

1. בדיקת ההשפעות הסביבתיות שתהיינה לבניית האי ובעיקר השפעתו על החופים. כיוול המודלים המתמטיים הבוחנים השפעות אלה ואימותם.

¹ במסגרת החברה שלו – הנדסת נמלי אוויר, הוגו מרום בע"מ.



2. בחינת התשתית במדף היבשת על-מנת לבחון את עתודות חומרי המילוי ובחינת אפשרויות הביסוס של האי.

3. ניתוחים תכנוניים וכלכליים ראשוניים לבחינת הכדאיות.

להקמת איים במדף היבשת עשויות להיות השפעות חיובית על הסביבה התופית. שכן, אם יועבר נמל התעופה משרה דב, יוסר מפגע סביבתי מאזורי המגורים שבצפון תל-אביב, ואם האיים ינוצלו לבניית מתקני המתקה למי ים, או תחנות כוח ומסופים לגז נוזלי, יתפנו חופים לשירות הציבור. אי מגורים, אם יתוכנן כהלכה, עשוי להוסיף שטחי חוף, קיט, נופש וחקלאות ימית. למשרד לאיכות הסביבה הוגשו שתי הצעות לסילוק פסולת לים בצורה מבוקרת תוך כדי בניית איים. הצעה אחת באה מאת חברת מליבו (12.11.98) והצעה אחרת מאת ד"ר א' גיתי (10.11.98). הצעות אלה נבחנות על-ידי המשרד לאיכות הסביבה.

חומרי המילוי או מיפוי מדף היבשת

חומר המילוי המתאים לבניית האי הוגדר על-ידי הטכניון והוא מורכב מחול המעורב עם פחות מחמישה אחוזים טין וחרסית (גודל גרגר הוא פחות מ-62 מיקרון). שני החומרים הפוטנציאליים שנשקלו מלכתחילה לשימוש במדף היבשת הם חול צעיר פריך וחול עתיק מוקשה המוכר ככורכר. החול הצעיר הפריך מופיע ב"מרזבות" שבין שלושה רכסי כורכר בצפון עד ארבעה רכסים בדרום שהם מקבילים לחוף.

מדף היבשת, מקו החוף עד לעומק מים של מאה מטר, רחב בדרום וצר יותר בצפון. בדרום רוחב המדף 15-23 ק"מ, במרכז ישראל 10-15 ק"מ, ובצפון 6-13 ק"מ. בעומק מים שנע בין 30 ל-40 מ' עד רכס הכורכר המזרחי שיפוע המדרון במדף הוא 0.5-0.8 מעלות, והתשתית מורכבת מחול "פעיל", אשר רכס הכורכר משמש לו מעין "סכר" המונע את גלישתו מערבה. חול "פעיל" זה שמקורו מדלתת הנילוס מוסע לאורך חופי צפון סיני וישראל ומהווה חלק מהתא הליטורלי הנוכחי של הנילוס. מאזן החול באזור זה משפיע ישירות על החופים והוא תוצאה של תהליכים טבעיים והתערבות אנוש (מתוך הדו"ח⁴ של מג"ל – המכון הגאולוגי לישראל). בין התהליכים הטבעיים משטר הגלים ומשטר הזרמים הם הגורמים הישירים החשובים ביותר. ניתוח משטר תנועת החולות על בסיס נתוני הגלים מעלה כי קיימת הסעת חול נטו בשנה מדרום צפונה, והיא הולכת וקטנה ככל שמצפינים עד חיפה. אומדן כמויות החול המוסעות צפונה בשנה ממוצעת הן 240,000 מע"ק באשדוד, ו-150,000 מע"ק בחדרה (מתוך דו"ח⁴ חיא"ל – חקר ימים ואגמים לישראל, ותקצירי יום העיון).⁴ התערבות אנוש

⁴ "איים מלאכותיים מול חופי ישראל בדיקת קדם היתכנות: ממצאי ביניים של הצוות הישראלי-הולנדי"; תקצירי יום העיון מה-14.1.98.

שניתן לציינה כמזיקה במיוחד היא בניית סכר אסואן שגרמה לעצירת אספקת הסחף לדלתת הנילוס ולעליית מפלס הים בגלל אפקט החממה. התערבויות מזיקות אחרות שניתן למנותן הן: כריית חול זיפזיף מהחוף, שאמנם הופסקה בחוק בשנת 1965 אך גרעה חול, ובניית מבנים ימיים כמו נמלים ומרינות לאורך החוף העוצרת את הסעת החול מדרום לצפון.

כיוון שלגריעת חול באזור ה"פעיל" תהיה השלכה ישירה על החופים נקבע כי אין להשתמש בו כחומר גלם בשביל חומר מילוי לבניית איים. מערבית לרכס הכורכר הראשון יש סיכוי למצוא מרבצי חול שכמותם גדלה ככל שמדרימים. החול טמון מתחת לכיסוי טפל של טין וחרסיות המתעבות מערבה.

במסגרת עבודת הכנה בוצע סקר סייסמי בהפרדה גבוהה על-ידי צירפ בעזרת ניווט של מערכת איכון לוויני הפרשי (GPS) להכרת תת הקרקע הרדודה בין זיקים לחדרה בעומק מים שבין שלושים לשבעים מטר על-ידי חיא"ל. נתוני הסקר עובדו במג"ל (מכון גאופיסי לישראל) ושימשו כבסיס לקביעת אתרי הקדיחה הימית באזורים בהם קיים סיכוי למציאת חול.

המדגם בוצע מספינת מחקר הולנדית בשלוש שיטות שונות. 32 נקודות נבדקו על-ידי CPT, שהוא שיטה אנלוגית להפרדה בין חול לחרסית וסילט והתוצאות בה מתקבלות מייד. 44 קידוחים נבדקו על-ידי VIBROCORER הבודק דגימות חומרים "רכים" ו-19 על-ידי SEARAM הבודק דגימות כורכר. בעקבות הסקר נמצאו מספר אתרים עם מרבצי חול באיכות נמוכה בעיקר בדרום ישראל ואילו הניצולת בקידוחים לכורכר הייתה נמוכה ביותר. דוגמאות הקידוחים נבדקו במעבדות מג"ל והטכניון.

התוצאות עד כה מחזקות את הנחת העבודה כי, כמויות החול העשוי לשמש כחומר מילוי נמוכות ואילו הכורכר הוא החומר הפוטנציאל ביותר מבטיח. עלות הכרייה הימית עדיין לא חושבה על-ידי חב' בוסקליס אך ברור כי כריית הכורכר יקרה יותר. מהנדסי הטכניון אישרו כי הכורכר מתאים מבחינה גאוטכנית לשמש כחומר מילוי אך הדגישו כי יש צורך בבדיקת דגימות ובבדיקות גוספות.

השפעות סביבתיות – מניעת נזקים לחופים

המטרה העיקרית של בדיקת ההשפעות הסביבתיות היא לבחון מהם הנזקים שעלולים להיגרם לחוף עקב בניית האיים. במילים אחרות, לבחון את צורתו, גודלו ומרחקו של האי מהחוף, לבדוק מהם אמצעי המניעה והמימשק שיש לנקוט ומהי עלותם על-מנת למזער את ההשפעות השליליות.

הנוק העיקרי שעשוי להיגרם לסביבה הוא עצירת שטף החול שתביא לתהליך של יצירת לשונות חול מחוברות (Tombolos) כפי שאירע בשוברי הגלים כנתניה וכתל-אביב, אלא שכאן מדובר בקנה-מידה גדול יותר. הדרך שבה בחרנו לבדוק זאת היא על-ידי הרצת מודלים מתמטיים של חברת DHL (Delft Hydraulics Laboratory) ההולנדית על קטע חוף בין פלמחים לפולג על 11 תרחישים שונים של אי דמוי טיפה ואי מלבני (נמל תעופה). הרצות אלה, שהיו השלב הראשון בבדיקה, בוצעו במודל מסוג חד-ממדי (Unibest).

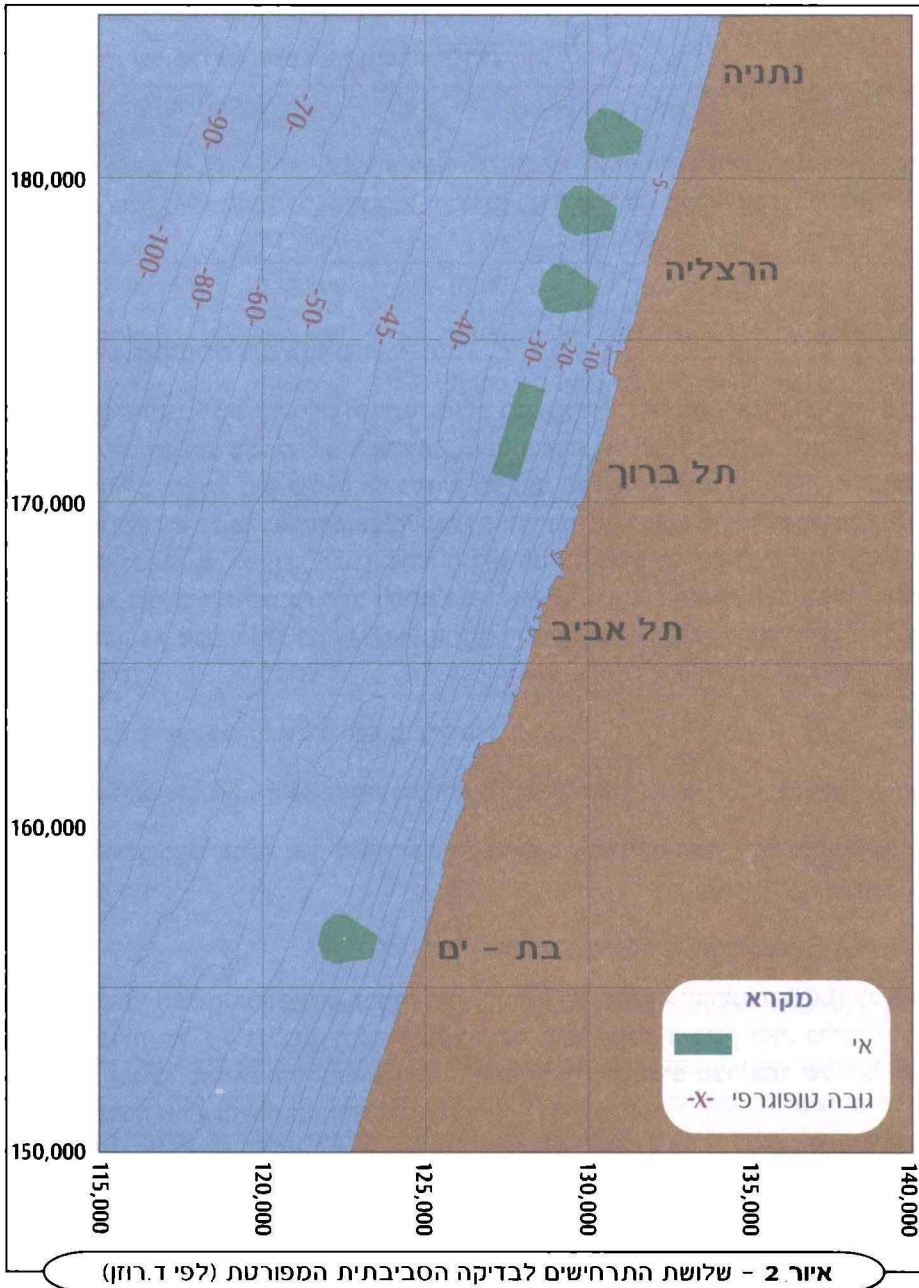
לצורך כיוול המודלים ואימותם נעשתה עבודה מוקדמת של איסוף הנתונים הקיימים וניתוחם על-ידי חיא"ל, ונאספו נתונים נוספים לקביעת האקלים הימי בעיקר זרמים וגלים וכן מפלסי ים ומשטר הרוחות. כמו-כן, נעשתה הערכה מחודשת של מאזן החולות לאורך החוף וההערכה של ההשפעות המקומיות שיש למבנים ימיים.

אחד-עשר התרחישים כללו: אי דמוי טיפה בגודל של אלף דונם ובמרחקים של 1,000 מ', 1,750 מ' ו-2,500 מ' מול תל ברוך; אי בגודל אלפיים דונם וחמשת אלפים דונם; איים מול הרצליה ונתניה. כן נבחנה שרשרת של שלושה איים במרחק של 2,500 מ' ו-5,000 מ' זה מזה מול תל-ברוך. נבחנו גם אי נמל תעופה בגודל של $800 \times 2,900$ מ' במרחק 1,250 מ' מול תל-ברוך ובמרחק 8.5 ק"מ. תוצאות הרצות אלה נותנות בידינו אינדיקציות ראשוניות לגבי גודל "אזורי הצל" בין האי לחוף, שבהם נבלמים הגלים והזרמים ועקב כך מצטבר חול. עיבוד הנתונים נותן אינדיקציות ראשוניות לגבי קצב ההצטברות של החול מחד גיסא, וקצב הגריעה של החול בחוף מאידך גיסא. כל זאת בהנחה שלא ננקטים אמצעי מניעה.

המסקנות הראשוניות של החברה ההולנדית (ואין אלה מסקנות הצוות כולו) לאחר הרצות אלה היו:

- עדיף לבנות את האי במרחק של 1,000 מ' מהחוף.
- עדיף אי דמוי טיפה בגודל שני קמ"ר.
- לפי התרחיש, אי באזור הצפוני של החוף גורם פחות נזק לחוף מאשר אי באזור הדרומי.
- לשרשרת איים יש השפעות נרחבות ומסיביות יותר מאשר לאי בודד.
- מרחק קצר בין האיים (2,500 מ') עדיף על מרחק גדול יותר (5,000 מ').
- אי מלבני (נמל תעופה) מקביל לחוף יגרום נזק רב יותר לחוף מאשר אי דמוי טיפה.

בעקבות הרצה זו נבחרו שלושה תרחישים להרצה המפורטת הדו-ממדית בתוכנת Delft 3D/2DH (איור 2):



- ♦ אי מלבני – נמל תעופה במקביל לחוף מול תל-ברוך.
- ♦ שרשרת של שלושה איים דמוי טיפה מול הרצליה.
- ♦ אי דמוי טיפה מול בת-ים.

הנתונים מהשלב השני יהוו תשתית לבחינת אמצעי המניעה הנדרשים ועלותם, ואילו המודלים אשר כוילו ואומתו ישמשו ככלי לבחינת בנייה מכל סוג במדף היבשת בעתיד.

אספקטים הנדסיים וכלכליים

אי קונבנציונלי בנוי משובר גלים ומחומר מילוי. ככל שמרחק האי מהחוף גדל כך גדל עומק המים ועלות הבנייה. במרכז הארץ אי דמוי טיפה בשטח של קמ"ר אחד ובמרחק 1,000 מ' מהחוף ימוקם בעומק מים של 13 מ' במזרח ו-25 מ' במערב; אי במרחק 1,500 מ' מהחוף ימוקם בעומק של 18 מ' במזרח ו-28 מ' במערב; ואי במרחק 2,500 מ' ימוקם בעומק של 27 מ' במזרח ו-32.5 מ' במערב. תכנון שובר הגלים הנו על בסיס גל תכן בגובה 11 מ' לערך, ולכן שובר הגלים הנורמטיבי חייב להיות בגובה 17 מ' ורופנו החיצוני חייב להיות מחוזק בגושי סלע או מבני בטון כמשקל 40-50 טון. לפיכך נבחנו מספר אלטרנטיבות לבניית שוברי גלים:

1. שובר גלים רחב ברוחב של כ-300 מ' ("ריפ").

2. שוברי גלים טבועים.

3. שובר גלים כפול בגובה של שלושה מטרים כל שובר, וביניהם תעלת "מרינה" ברוחב של כמאה מטר.

להלן חישובי העלות הראשוניים לבניית האי (דו"ח" של החברה ההולנדית LCE) על בסיס הערכת עלות של 4.5 דולרים למטר מעוקב חומר מילוי כולל מימשק האי. כלומר, עלות ההעברה של כל כמויות החול המוערכות הזורמות לאורך החופים מצד אחד של האי לצדו השני. הערכה זו לא כוללת תשתיות נדרשות.

טבלת חישובי עלות

עלות למ"ר (דולר)	הערכת עלות (אלפי דולר)	מרחק מהחוף (מטר)	ממדים (מטר ודונם)	תיאור יחידה
	1,378,000	2,000	2,900 × 800	נמל תעופה
	827,000	1,000	2,300 × 500	נמל תעופה
570	570,000	1,000	1,000	אי דמוי טיפה
661	661,000	1,500	1,000	אי דמוי טיפה
799	799,000	2,500	1,000	אי דמוי טיפה
507	1,013,000	1,500	2,000	אי דמוי טיפה
549	1,099,000	2,000	2,000	אי דמוי טיפה
583	1,166,000	3,000	2,000	אי דמוי טיפה
413	2,065,000	1,500	5,000	אי דמוי טיפה
473	2,367,000	3,000	5,000	אי דמוי טיפה
551	2,757,000	5,000	5,000	אי דמוי טיפה

מההערכות הראשוניות של LCE עלות שלוש מסקנות עיקריות והן:

1. עלות מטר רבוע באי דמוי טיפה בשטח של שני קמ"ר נמוכה מזו שבאי בשטח קמ"ר אחד.

2. גורם דומיננטי בתחשיב העלות הוא מחיר חומר המילוי.

3. אי דמוי טיפה הוא הזול ביותר והפחות מזיק לסביבה החופית.

המידע העומד כיום לרשות המתכננים מצביע על-כך שבשלב זה עדיין אין אומדן מוסמך של העלויות הצפויות במימוש פרויקט האיים המלאכותיים בחוף תל-אביב. לפי הערכה גולמית המבוססת על ניסיון בתנאים ובנסיבות שונות מאלה הקיימים בחוף זה מדובר בעלות של כ-1,000,000 \$ לדונם קרקע. מהערכה זו נגזרות שתי מסקנות:

♦ אין די בגובה מחירי הקרקע של קרקע מיועדת לבניית שטחי מגורים על-מנת להצדיק את מימוש פרויקט האיים המלאכותיים לאלתר.

- בעתיד (בשנת 2020) יתקרבו מחירי הקרקע של קרקע המיועדת לבניית שטחי מגורים לרמה המצדיקה, לכאורה, את יישום פרויקט האיים המלאכותיים. מסקנה זו מתבססת על האפשרות, שאיים מלאכותיים ימוקמו מול ליבת המטרופולין, וייעדו לבניית שטחי מגורים. היא מתבססת גם על האפשרות, שאיים מלאכותיים ייעדו לפינוי מתקנים התופסים במרחב המטרופולין קרקע הראויה לבניית שכונות מגורים. (למשל, העברת מתקן "שדה דב" – בהנחה שמתחם השדה ייועד לבניית אזורי מגורים וששווי של כל דונם באי המלאכותי שישמש כנמל תעופה יהיה מיליון דולר במחירי 1995).

בניית איים ללא חומרי מילוי

עד כה נבנו בעולם איים קונבנציונאליים מחומרי מילוי טבעיים כמעט באופן בלעדי. הבעיה של מציאת חומרי מילוי והפגיעה הסביבתית בעת הכרייה מאלצת אותנו לחשוב על בניית איים ללא חומרי מילוי מהטבע. במסגרת זו הועלו כמה הצעות.

1. בניית אי על כלונסאות. לפי מסקנות הדו"ח:
 - א. ניתן לבנות על בסיס טכנולוגיות מהימנות אי על כלונסאות שיעמוד על גשרים ומחלפים.
 - ב. פלטפורמת האי צריכה להיות 16 מ' מעל לפני המים.
 - ג. תהיינה אפשרויות לבנייה מורדלרית בהתאם להתפתחות ולוחות הזמנים.
 - ד. למרחק מהחוף הייתה השפעה פחותה כאשר החישובים בוצעו לעומק של 22 מ' מים.
 - ה. העלות המשוערת לקמ"ר אי דמוי טיפה היא 714,265 אלפי דולר כלומר 714 דולר למ"ר.
 - ו. העלות המחושבת לנמל תעופה שגודלו $60 \times 2,700$ מ' היא 1,068,550 דולר השווה ל-828 דולר למ"ר.
 - ז. בחישובי העלות כלולה עלות בניית הגשרים לאי.

2. אי צף

הפרויקט המתקדם ביותר בעולם בתחום המתקנים הימיים הצפים נקרא "Megafloat". זהו פרויקט משותף של משרד התחבורה ותעשיות הפלדה היפניות. עד כה הוקם מתקן ימי צף בגודל של 60×300 מ', אך יש תכנית לבניית מתקן בגודל של $120 \times 1,200$ מ'. בפרויקט זה קיימות שתי בעיות קרדינליות, בעיית הריתוך תחת פני מי הים ובעיית העיגון של המתקן. רשות שדות התעופה במשרד התחבורה היפני תראה בזאת טכנולוגיה מהימנה רק לאחר שינחת מטוס על האי הצף (מתוך האינטרנט).

מתכנן האוניות החיפאי ג' קגינסקי, הציע⁵ בשנת 1997 להקים אי צף עם מספר סיפונים המעוגן בתשתית, אשר העלות של קמ"ר היא 600 מיליון דולר.

3. רעיון אחר הוא הרעיון של מ' בורט מהטכניון, שהציע להקים אי או רצף איים, המבוסס על שני אלמנטים האחד – שובר גלים "ספוגי", והאחר – מכלי בנייה מודולריים. שובר הגלים הספוגי יהיה עשוי מקליפות מודולריות של בטון מזוין. הקליפות יחוברו למערך מונוליטי, אשר יחד עם מי הים הממלאים אותן, יציב התנגדות חזיתית של 1,000-3,000 טונות לכל מטר רץ של שובר הגלים. ההשערה היא, שהאנרגיה הגלית שמעל מפלס המים יתקל במבוך ספוגי של קליפת הבטון אשר ישכך את האנרגיה הגלית על-ידי פיזור התנע של הגל.

פרויקט זה עדיין נמצא בשלב מחקרי. מטרת המחקר היא לאמת את הנחות המוצא הנ"ל ולבחון את מגבלותיו ויתרונותיו היחסיים לעומת תפיסות ופתרונות קונבנציונליים של שוברי גלים המבוססים על חומרי מילוי כרויים או סינתטיים.

לפיתוח האיים בישראל עשויה להיות תרומה ממשית לשיפור המערך העירוני השכן. הוא יתרום לסילוק מטרדים, לשחרור עתודות קרקע חיוניות לפיתוח, המשמשות כיום לכל מיני מטרות אחרות ויוצרות מגבלות בנייה נרחבות ומגבלות סביבתיות נוספות כדוגמת שדה דב. האי יתרום ליצירת מערכת יחסים חדשה בין שימושי הקרקע העירוניים לאורך החוף ובין קו המים – הוא יהווה מרכיב נופי חדש לאורך החוף, וירחיב את התחום, ההיקף והמגוון של אפשרויות הפעילות החופית.

האי ייראה כהמשך רציף של הפיתוח היבשתי אל תוך הים. הוא לא ייראה כתמונה ערטילאית מרוחקת ועמומה בתוך הנוף של מרחב הים הפתוח. נהפוך הוא, הנוכחות הפיסית של האי והשפעתו הויזואלית על מי שצופה מהחוף אל הים הפתוח תהיה חזקה וקרובה. (לדוגמה: מזח הפתח בחדרה מגיע למרחק 2,000 מ' מהחוף).

הבינוי המתוכנן על האי ידרוש מאמץ אדריכלי רב כדי להגיע לאיכות נופית ראויה שתתקבל על דעת ציבור רחב. לאחר הפחתת שטחי רצועות חוף שיושאו ללא בנייה יוותרו באי דמוי טיפה בן 2,000 דונם 1,500-1,800 דונם לפיתוח עירוני, ובאי בן 1,000 דונם – 650-850 דונם בלבד.

צפיפות המגורים בו תהיה סבירה על אף הייעוד של שטחים לציבור הרחב ולפעילות כלכלית. האי יכיל 12,000-15,000 יחידות דיור שתהיינה מיועדות לאוכלוסייה של כ-30,000-35,000 תושבים. בעבור אוכלוסייה זו אפשר יהיה לפתח מערכות שירותים

⁵ הצעתו של קגינסקי, שהוא עולה חדש, נשלחה במכתב, בין היתר לשר התשתיות הלאומיות.

ציבוריים ומסחריים קרוב לשכונות המגורים, והיא תוכל לקיים על האי חיים קהילתיים עשירים.

חלק ניכר מקטעי החוף העירוניים נשען על מערכות רחובות צרים יחסית, המספיקים בקושי לפעילות העירונית הרוחשת בהם כיום. יצירת קשר תחבורתי מסיבי לאי המאוכלס בכ-30,000 נפש, וקביעתו בנקודה מסוימת במרקם העירוני הצפוף, מחייבת פתרונות תחבורתיים מורכבים. הפתרון היעיל והחסכוני ביותר לפיתוח העירוני הוא בבניית גשר לאי, והוא מאפשר לנו לבחון בהקשר זה פתרונות מסוגים שונים אשר עשויים להקל על הבעיה.

אי ארוך, במידות $800 \times 2,900$ מ', המיועד לנמל תעופה – יכיל את מכלול המתקנים, המסלולים והמבנים הדרושים להפעלת נמל תעופה, ולו ניתן יהיה להוסיף מתקני נופש ותיירות. היתרונות המרכזיים של פיתוח נמל תעופה בים הם: סילוק שדה דב מתוך השטח הבנוי של תל-אביב, הסרת מגבלות הבנייה שנוצרות בגללו ונפרסות על פני שטחים עירוניים נרחבים יחסית, והקטנת המטרד שגורם רעש הנחיתות וההמראות מנמל התעופה הנמצא קרוב לשטח בנוי. אם הנמל יועתק לים, ההמראות והנחיתות תהיינה מעל המים, וייבנו אזורי תנועה היקפיים למטוסים מחוץ לשטח הבנוי, אשר יתרמו באופן ממשי לשיפור תנאי החיים העירוניים. המיקום המוצע להקמת נמל תעופה בים הוא בהמשך כביש מס' 5, הפונה לכיוון הים, באזור שבין הרצליה ותל-אביב, כלומר, צפונה ממיקומו הנוכחי של שדה דב, במרחק 2.5 מ' מקו החוף.

היבטים משפטיים ומכרז בשיטת BOT

מתוך התקציר המשפטי של עו"ד חנן מלצר, עולות שתי בעיות עיקריות לטיפול בנושא האיים:

א. ניתן להצביע על פרויקטים רחבי-היקף שבוצעו בישראל במסגרת החקיקה הקיימת – ללא צורך בחקיקת חוק מסדיר נפרד, דוגמת פרויקט "נתב"ג 2000" או "כביש חוצה ישראל".

ב. נראה שזו גם המדיניות הראויה לגבי פרויקט האיים המלאכותיים, אותו יש לתכנן ולהקים במסגרת ההסדרים הנורמטיביים הקיימים, המבטיחים מעורבות פעילה של הציבור כיאה לפרויקטים מסדר גודל כזה. רק מקום בו לא היה בתשתית החקיקתית הקיימת כדי לתת מענה ספציפי לבעיות מיוחדות שיתעוררו במסגרת הפרויקט – יש לבצע חקיקה נקודתית.

אם נגיע לשלב של הוצאת מכרו לפרויקט של אי מלאכותי וכאשר נגיע לשלב זה, יש לזכור כי המכרו המקובל בפרויקטים בהיקף כזה הוא מכרו BOT (Build, Operate, Transfer), שבו המזמין אינו משלם למבצע בעבור ביצוע הפרויקט, אלא משלם לו באמצעות הזיכיון להפעלת הפרויקט במשך תקופה מוגדרת. היום/המבצע/המפעיל הוא זה שצריך לדאוג להשגת המימון הבנקאי הדרוש. יתרונו של מכרו כזה בכך שהוא מטיל על היזם/המבצע את עלויות ההקמה וההפעלה (ולעתים גם את עלות התכנון) של הפרויקט על כל הכרוך בכך, ללא הוצאה כספית משמעותית מצד מזמין המכרו.

מכרו מורכב כזה כולל בדרך-כלל שניים או שלושה שלבים: שלב של מיון ראשוני על-פי תנאי סף, שאותם קובע מזמין המכרו מראש; שלב ההצעה לביצוע הפרויקט, המותנה גם בהסכם לליווי בנקאי מתאים (הכולל בדרך-כלל גם מנגנון של שיפור ההצעות והאחדתן למכנה משותף, שיאפשר התמחרות); ולעתים גם שלב של מו"מ סופי עם הזוכה. מדובר בתהליך ארוך שעלותו בפרויקטים מסוג זה יקרה מאוד, הן למזמין והן למציעים, ועשויה להגיע לכמה מיליוני ש"ח לכל קונסורציום משתתף.

כיום הזכויות הקנייניות באזור שייכות למינהל מקרקעי ישראל, אשר מכוח בעלותו על מקרקעי הים הוא גם בעליו של החלל שנמצא מעליהם, לרבות המים וחלל הרום לפי דיני המקרקעין בישראל. לפיכך, מינהל מקרקעי ישראל הוא גם הגוף שלכאורה אמור לטפל במכרזים הנוגעים לפרויקט. אולם מאחר ומדובר במכרזים מורכבים ביותר שהכנתם והוצאתם לפועל דורשת מומחיות מיוחדת בתחומים הרלבנטיים ושיתוף של גורמים ממשלתיים רבים נוספים, ייתכן שיהיה עדיף להקים חברה או רשות ממשלתית מפקחת מיוחדת לצורך זה (כמו: חברת כביש חוצה ישראל בע"מ, או חברת נתיבי הכרמל בע"מ). מכל מקום, ההחלטה מי ירכז את הטיפול במכלול היא החלטה שצריכה להיעשות ברמה הממשלתית.

*** דו"חות טכניים נספחים לדו"ח הביניים

1. **Review of Existing Data and Information on Development Plans in the Coastal Study Sector** – I.O.L.R. Report No. H23/97 by Dov. S. Rosen, National Institute of Oceanography, Israel Oceanographic and Limnological Research Ltd., December 1997, Haifa.
2. **Characterization on Mete-oceanographic Climate in the Study Sector.** Progress Report No. H16/98 by Dov. S. Rosen, National Institute of Oceanography, Israel Oceanographic and Limnological Research Ltd., Haifa, May 1998.
3. **New R&D Current Measurements of Tel-Aviv–Hertzlia Coast** (February 18 – April 6, 1998) I.O.L.R. Report No. H14/98 by Zvi Rosentroub, National Institute of Oceanography, Israel Oceanographic and Limnological Research Ltd., Haifa, May 1998.
4. **Literature Review of the Biotic Communities on the Central Mediterranean Coast of Israel,** I.O.L.R. Report No. H01/98 by Bella Galil, National Institute of Oceanography, Israel Oceanographic and Limnological Research Ltd., Haifa, January 1998.
5. **Review of Existing Information on Pollution Sources, Quantities and Contents in the Coastal Study Sector,** I.O.L.R. Report No. H10/98 by Nurit Kress and Barak Herut, National Institute of Oceanography, Israel Oceanographic and Limnological Research Ltd., Haifa, March 1998.
6. **Task 2.3.3: Analysis of Development Schemes** by B.P.H. van Passen Lievens Consulting Engineers.
7. **Morphological Impacts Modeling Study,** report from WI/Delft Hydraulic for the interim Report, August 1998.

*** ניתן לעיין בדו"חות בספריית המכון הגאולוגי בירושלים, רח' מלכי ישראל 30.

8. **Artificial Islands – Fill Material** by Prof. Amos Komornik, Soil Engineering Ltd., Ref File Komisle. Doc., 17 November 1997.
9. **Stage 1: Compilation and Analysis of Database of Existing Data** by G. Almagor, D. Gill and J.K. Hall, The ministry of National Infrastructure, Geological Survey of Israel, Report GS1/26/97, Jerusalem, December 1997.
10. **Israel Mediterranean Shore & Offshore – Bibliography**, the Geological Survey of Israel, Jerusalem, September 1997.
11. **Kurkar & Kurkar Group Coastal Plain & Offshore Israel – Bibliography**, the Geological Survey of Israel, Jerusalem, September 1997.
12. **Mediterranean – Israel Offshore Oil Wells – Bibliography**, the Geological Survey of Israel, Jerusalem, September 1997.
13. **Artificial Islands Project – Shallow Seismic Survey, Interim Report** by Abraham Golik (Israel Oceanographic and Limnological Research). Miki Gardosh (Geophysical Institute of Israel). Dan Gill and Gideon Almagor (Geological Survey of Israel), Report H 31/98, Haifa, August 1998.
14. **Geotechnical Survey Offshore Sand Resources Israel – Executive Summary** by S. Modder and J.J.A. Harteve't, Fugro Engineers B.V. Holland, Report No. N-3607/01S 10 August 1998.
15. **Geotechnical Survey Offshore Sand Resources Israel** by S. Modder and J.J.A. Hartevelt, Fugro Engineers B.V. Holland Report No. N-3607/01 31 July 1998.
16. **Fill Material Prospects in Haifa Bay Based on Statements and Conclusions in UNDP Reports (1975-1977)** by C. Stigter, Boskalis, Holland, 11 September 1998.
17. **Island with Reduced Fill Material and Fill Material Transfer to Island** by Y. Zimmels and A. Boas, Israel.

18. **Present Sedimentological State Assessment**, in the study sector I.O.L.R. Report No. H17/98 by Dov Rosen, National Institute of Oceanography, Israel Oceanographic and Limnological Research Ltd., Haifa, September 1998.
19. **Preliminary Feasibility Study 1st Stage – Assessment of the Potential and Limitations of Artificial Islands** (Hebrew), by Lerman Architects & Town Planners, Tel Aviv, August 1998.
20. **Excess Demand for Dwelling Space in the Metropolitan Region of Tel-Aviv**, by Sadan Lowental Ltd., Tel-Aviv, August 1998.
21. **Formulation of a Concept for the Construction of an Offshore Island with Reduced Quantities of Fill Material or Without Fill Material at all** (Executive summary), by Y. Zimmels and A. Boaz, Israel Technical Institute.