



קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה
אוניברסיטת חיפה



מרכז המחקר
המכללה לביטחון לאומי

איים מלאכותיים בחופי ישראל

אבן דרך בהתפתחות מדינת ישראל?

שמואל וייס





קתדרת חייקין לגאואסטרוטגיה
אוניברסיטת חיפה



מרכז המחקר
המכללה לביטחון לאומי

איים מלאכותיים בחופי ישראל

אבן דרך בהתפתחות מדינת ישראל?

שמואל וייס

ינואר 2014

המרכז למחקר של המכללה לביטחון לאומי, צה"ל

מרכז המחקר של המכללה לביטחון לאומי שואף לעסוק בחקר תופעות מתהוות בהקשרי הביטחון הלאומי, מפתח ידע אקטואלי להוראה במכללה ומשתתף בניסיון לנסח תפיסת ביטחון רשמית ועדכנית למדינת ישראל, בהובלת המועצה לביטחון לאומי. חצר המכללות מבקשת לשמש אכסניא ובית מדרש, אשר בו יתפתח ידע חדש ורלבנטי עבור גופי הביטחון הלאומי, מכללות צה"ל וגופי מחקר עמיתים, בארץ ובחו"ל, ובהשתתפותם. המרכז שם לו למטרה לממש את הייעוד המחקרי של המכללה לביטחון לאומי, תוך ניצול יתרונו היחסי בתחום הביטחון הלאומי כמקום מפגש בין-ארגוני ולאור ניסיונם המעשי של התלמידים, הבא לידי ביטוי במחקר.

קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה, אוניברסיטת חיפה

הקתדרה עוסקת בנושאי הביטחון הלאומי שלהם ביטוי מרחבי, דוגמת משאבים טבעיים ותפוצתם, פריסת האוכלוסייה, התשתית הפיזית והמרכיבים הסביבתיים. הקתדרה מפרסמת ניירות עמדה, נותנת ייעוץ למקבלי החלטות בכירים, יוזמת מחקרים, ימי עיון וכנסים, מוציאה ספרים ועבודות מדעיות ומסייעת לתלמידי מחקר בתחומים הנזכרים לעיל. כמו כן עוסקת הקתדרה בהפצת הנושא בבתי הספר התיכוניים ומוסדות אקדמיה.

ראובן חייקין ז"ל (1918-2004)

ראובן חייקין נולד בתל אביב, היה שותף בכיר במשרד רואי החשבון סומך-חייקין, גילה עניין רב בגאוגרפיה ובגאופוליטיקה וסייע רבות לתחומים אלה באוניברסיטת חיפה.

יהי זכרו ברוך!

ראש הקתדרה: ארנון סופר

עריכת לשון: שרה יורמן

עריכה גרפית והבאה לדפוס: נוגה יוסלביץ

הודפס בישראל בשנת 2013

© כל הזכויות שמורות לקתדרת חייקין לגאואסטרטגיה באוניברסיטת חיפה

ISBN 965-7437-39-1

הדפסה: א.א.א. הדפסות בע"מ

כריכה: אילוסטרציה של מפגש תעלות שייט, רציפים ורחובות באי מלאכותי, מיכאל בורט

<http://web.hevra.haifa.ac.il/~ch-strategy>

תוכן העניינים

6	פתח דבר
8	הקדמה
9	מבוא
9	אז למה צריך איים מלאכותיים?
9	צפיפות ודמוגרפיה
13	מהם הצרכים הצפויים בנושאי תשתיות?
13	מתקני אנרגיה
14	שדות תעופה
14	מתקני התפלת מים
14	מתקני טיפול בשפכים
15	נמלי ים
15	מתקני פסולת מוצקה
15	מתקנים צבאיים
16	איים מלאכותיים כפתרון למצוקת התשתיות
19	מתודולוגיה
21	פרק ראשון: מהנעשה בעולם בתחום האיים המלאכותיים
22	דוגמאות מהעולם
27	פרק שני: טכנולוגיות ההקמה של איים מלאכותיים
27	משטח על גבי חומרי מילוי
28	קאיסונים (Caissons)
28	איים צפים
33	שדה תעופה צף וסובב - <i>RFA (Rotating Floating Airport)</i>
34	שיטת בורט
37	כלונסאות
39	פרק שלישי: החוף בישראל - קשיים, מגבלות והזדמנויות
41	שיקולים ומגבלות פיסיים
42	שימושי קרקע בים
43	השפעות רעידות אדמה
44	היבטים סדימנטולוגיים
53	מצאי חומרי המילוי
56	פרק רביעי: היבטים סביבתיים בבניית איים מלאכותיים
62	פרק חמישי: ההיבטים הכלכליים של הקמת איים מלאכותיים

- 65 **פרק שישי: ההיבטים המשפטיים הנוגעים להקמת איים מלאכותיים**
 65 מימי החופים – הסמכויות על פי המשפט הבינלאומי
 65 מימי החופים – הסמכויות על פי חוקי מדינת ישראל
 66 מעמד משפטי

69 **פרק שביעי: היבטים מדיניים – הסכסוך הישראלי פלסטיני**

73 **פרק שמיני: סיכום**

74 **מקורות**

76 **נספח א'**

טבלאות

- 10 **טבלה 1:** צפיפות האוכלוסייה לקמ"ר יבשתי (נפשות קמ"ר)
 12 **טבלה 2:** יישובים, אוכלוסייה וצפיפות לקמ"ר לפי מטרופולין (נפשות קמ"ר)
 52 **טבלה 3:** מפלסי ים קיצוניים (ללא השפעת שינוי האקלים)
 53 **טבלה 4:** תקופות חזרה של מצבי ים נדירים ואומדן רום "טיפוס" הגלים בחוף

איורים

- 10 **איור 1:** גידול אוכלוסיית העולם 1750–2150
 16 **איור 2:** העתקת שדה דב – ידיעות אחרונות, 25/1/2012
 18 **איור 3:** נמל היובל – אשדוד
 22 **איור 4:** האי דג'ימה ומפרץ נגאסקי
 23 **איור 5:** האי התעשייתי, ג'ורונג בסינגפור (Jurong Island)
 24 **איור 6:** שדה התעופה הבינלאומי של קנסאי
 25 **איור 7:** נמל ימי Port Island, קובה
 25 **איור 8:** שדה התעופה של קובה
 26 **איור 9:** איי הדקל, Palm Islands, דובאי קיים ומתוכנן
 26 **איור 9ב:** אי הדקל דיירה (Palm Deira)
 27 **איור 10:** אוניית מחפר לכריית חומר מילוי בקרקעית הים
 28 **איור 11:** קאיסונים מבטון מזוין, יצוקים ביבשה ומוסעים לאתר
 29 **איור 12:** מודלים של קאיסונים מדגמים שונים
 29 **איור 13:** קאיסון שאינו דורש חומרי מילוי
 30 **איור 14:** מודלים של איים צפים וצורות עגינה

- 31 איור 15: מודל של אי צף ואלמנט העגינה
- 32 איור 16: שדה תעופה בשיטת ה-Mega-Float, מפרץ טוקיו יפן
- 33 איור 17: ניסויים וחישובים להקמת שדה תעופה על פלטפורמה צפה
- 34 איור 18: סכימה של שיטת RFA
- 35 איור 19: שוברי גלים ספוגיים - Permeable sponge breakwaters
- 36 איור 20: ניסויי תנועת גלים על משטחים ספוגיים
- 36 איור 21: פלטפורמות המיכל על פי שיטת פרופ' בורט
- 37 איור 22: שיטת ביסוס על כלונסאות
- 37 איור 23: אסדת קידוח על כלונסאות
- 38 איור 24: גשר על כלונסאות
- 38 איור 25: טורבינות רוח על כלונסאות
- 40 איור 26: מפה בתימטרית - מיפוי העומקים פלמחים - בית ינאי
- 41 איור 27: סכימת חלוקה לרצועות אורך מימי החופין
- 44 איור 28: תהליך הסעת החול מול חופי ישראל
- 46 איור 29: מיפוי המאפיינים הסדימנטולוגיים לאורך החוף
- 47 איור 30: הדמיה של מבנה קרקעית הים מול חופה הצפוני של ישראל
- 49 איור 31: מיפוי התאמה להקמת איים מלאכותיים - אזור צפון
- 50 איור 32: מיפוי התאמה להקמת איים מלאכותיים - אזור מרכז
- 51 איור 33: מיפוי התאמה להקמת איים מלאכותיים - אזור דרום
- 53 איור 34: הגלים ושכיחות הופעתם בשנים 1959-1970, 1992-1995
- 54 איור 35: קידוחי גלעין בעזרת מקדח Seasam בשכבות הכורכר
- 57 איור 36: תופעת הטומבולו בעקבות שוברי הגלים - חוף תל אביב
- 57 איור 37: תופעת הטומבולו בחוף נתניה
- 58 איור 38: חזית המצוק בחוף נתניה
- 60 איור 39: הדמיה של שדה תעופה, במרחק 2,550 מטר מהחוף עם גשר גישה
- 61 איור 40: מצוק חוף אפולוניה, שחלקים ממנו קרסו
- 71 איור 41: הצעה למיקום שרשרת איים מול חופי עזה

פתח דבר

שינויים דמוגרפיים מהירים משפיעים על כל תחומי החיים, החל משינויים במבנה הכנסת, חוסר משילות, מציאות אנרכית ופגיעה באיכות החיים של כל פרט בישראל. גידול אוכלוסייה מהיר בחברה מערבית משליך על הצפיפות שפירושה הידרדרות חס וחלילה לחברת עולם מתפתח. קריסת מערכות ההובלה, בעיקר המוטורית, פקקי תנועה הנעשים קשים מדי יום, אילו ממוטטים את עצביהם של מאות ואלפי נהגים. תשובתם היא יותר גסות, חציית כבישים ברמזורים אדומים, חוסר תרבות בעת הנהיגה, וכשאדם פרוע על הכביש הוא פרוע אחר כך במשרד, בבית, כלפי ילדיו... (בל נטעה זה לא בגלל הכיבוש אלא הכביש).

צפיפות מציבה דילמות של מיקום תשתיות לאומית חיונית. המקרה האחרון שחוותה החברה הישראלית היה בחיפוש אחר אתר לטרמינל הגז שאמור בשעה טובה להגיע לחופי ישראל – כחול-לבן – ולהתנקז ממנו לכל חלקי הארץ. דובר על איתור המתקן באזור חוף דור, אח"כ ההצעה זזה לאזור זיכרון יעקב, משם למחצבת עין אילה, משם לפרוטרום בעכו, משם לעמק חפר ואולי לאתר חגית. לכל אחד יש נימוקים רבים ומשכנעים מדוע שהאתר לא יהיה ליד ביתו... אלא אצל שכנו.

אך זו רק ההתחלה, נצטרך כבר בעתיד הקרוב עוד בתי זיקוק, תחנות כוח, מתקני התפלה, מיכלי איחסון לאמוניה ושאר חומרים מסוכנים, היכן ימוקמו כל אלו? אם לא הקשנו די, הרי הבעיה הדחופה ביותר נמצאת במרחב מטרופולין תל אביב, דהינו במרחב שבין חדרה לאשדוד, שם מרוכזת מרבית האוכלוסייה הישראלית, שם מרוכזת מרבית הכלכלה והביקושים לכל דבר ועניין. הבעיה היא שרוחבו של מרחב זה נע בין 15–20 ק"מ בלבד והוא מגיע לצפיפויות של כ-2,000–7,000 נפשות לק"מ, צפיפות גבוהה אשר רק עלולה לגדול לאור תחזית גידול האוכלוסייה במדינה כולה ובעיקר במטרופולין תל אביב.

אם לא אמרנו די, הרי שבמרחב כה צפוף וכה צר, חולפים כל שלושת צירי התחבורה המרכזיים של מדינת ישראל – קרי כבישי 2, 4, 6 המפוקקים כבר בהווה. צר לנו לקבוע כי לא יהיה מקום בעתיד הנראה לעין לעוד כביש ראשי חוצה ישראל מעתה ועד עולם. נרחיב מסלול כאן, נוסיף מסלול שם וזהו... אין ולא יהיה מקום לדחוס עוד כביש ראשי נוסף! מכיוון שאין אנו קוסמים, מרחב האפשרויות של החברה הישראלית להתמודד עם אתגרים אלו אינו בלתי מוגבל.

- יהיה צורך דחוף לפזר אוכלוסייה על מנת למתן צפיפות במרכז...
- נוכל להמשיך ולטפס לשמיים בעזרת בנייה לגובה... אבל לא את הכל ניתן להרים.

- נוכל לרדת מתחת לפני השטח, שכן המרחב התת-קרקעי, כמעט בלתי מוגבל. נרד למעמקים על מנת לאחסן, לתעשייה, לחניות, למסחר, זה יתן מענה לשינויי אקלים, זהו פיתרון חשוב ביותר לאימים ביטחוניים, אבל לא הכל ניתן להוריד למטה...

האפשרות השלישית היא היציאה אל הים, אל מרחב ששטחו (בתחום הטריטוריאלי של המדינה) כשטחה של מדינת ישראל כולה. אל הים אפשר להעביר תשתיות לאומיות זוללות מרחבים ומסוכנות, כמו תחנות כוח, מערכות אחסון, מתקני התפלה, תחנות כוח על ידי רוח, מתקני זיקוק ואחסנת נפט, טיפול בגז, שדות תעופה מקומיים (כשדה דב וחיה) ובינלאומיים (כמו בקובה, יפן) הרחבת נמלים ומתקני צבא ובעיקר אילו של חיל הים. אם וכאשר שלב בנייה זה יוכתר בהצלחה, יהיה מקום לחשוב על תכנון ערים צפות ועוד.

אבל אסור לנו לשכוח, בישראל אין חופי ים מפורצים כמו ביפן והונג-קונג, חופי ישראל פתוחים לים הסוער מאוד בחורף ועל כן יש לחפש תשובות מקוריות למציאות אקלימית-גאוגרפית המיוחדת לנו. לישראל חסרים חומרי גלם למילוי מאות ואלפי דונמים הנחוצים לכל השימושים שנזכרו. יש לחפש תשובות טכנולוגיות וארכיטקטוניות כחלופה לחוסרים אלו.

קתדרת חייקין והמרכז למחקר של המכללה לביטחון יציגו לציבור הישראלי מספר עבודות שבאות לתת תשובה או לפחות להציף את הנושא ולהניחו על סדר היום הלאומי, ויפה שעה אחת קודם.

עבודתו של שמואל וייס בוגר המכללה לביטחון לאומי היא בבחינת יריית פתיחה ראשונה בתחום, והיא מנסה להקיף את מכלול הבעיות הקשורות בכל הנוגע ליציאה אל הים. תודה לשמואל וייס על עבודתו. תודה לנוגה יוסלביץ על העריכה וההבאה לדפוס ותודה לשרה יורמן על ההגהה בעברית.

פרופ' ארנון סופר

ראש המרכז למחקר במכללה לביטחון לאומי

ראש קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה, אוניברסיטת חיפה

ינואר 2014

הקדמה

לנושא עבודה זו, איים מלאכותיים, הגעתי במקרה. במסגרת תפקידי הקודם בוועדה לאנרגיה אטומית, נתבקשנו, ללא קשר לתחום עיסוקנו השוטף, להכין לראש הממשלה סקירה בנושא היתכנות להקמת איים מלאכותיים בישראל. הכנו סקירה קצרה (מעין סקר ספרות) על הנעשה בתחום, והנושא הוצג לראש הממשלה. המלצתנו היתה כי ככל הנראה קיימת היתכנות וכי יש להטיל את מלאכת הבדיקה היסודית על גוף שזה תחום עיסוקו. הצגה זו בפני ראש הממשלה התקיימה בינואר 2011.

בספטמבר 2011 התחלתי את לימודי במב"ל, ובעת שחיפשתי נושא לעבודה שנתית, המליץ לי מי שהיה הממונה הישיר שלי, ראש הוועדה לאנרגיה אטומית, ד"ר שאול חורב, לבדוק את נושא האיים המלאכותיים בצורה מעמיקה יותר. כך נחשף בפני עולם מדהים המשלב בתוכו עולמות תוכן שונים. במהלך עבודתי על הנושא התעוררה התעניינות מחודשת בנושא מצד ראש הממשלה והוא הטיל את מלאכת הבדיקה על משרד המדע.

במסגרת עבודה זו קיימתי מספר שיחות עם גורמים העוסקים בתחום וכמו כן התבקשתי להציג את הנושא למספר גורמים נוספים. בהזדמנות זו ברצוני להודות לאנשים שהקדישו לי מזמנם: ראש הממשלה, מר בנימין נתניהו, שר המדע פרופ' דניאל הרשקוביץ, מנכ"ל משרד המדע, מר מנחם גרינבלום, ד"ר גבי גולן, סגן מזכיר הממשלה ויועץ ראש הממשלה לאנרגיה, פרופ' אמריטוס מיכאל בורט, מהטכניון. תודה מיוחדת למנחה שלי פרופ' ארנון סופר, שהוביל, כיוון, תמך וליווה; לצוות המב"ל, ד"ר אורנה קזמירסקי, רס"ן נאווה גרוסמן-אלוני והגב' ליאורה הרצל, מדריכת הצוות שלי – על הליווי והסיוע. תודותי שלוחות כמובן לד"ר שאול חורב, ראש הוועדה לאנרגיה אטומית, שיזם את הרעיון, תמך ועודד אותי לאורך כל הדרך.

בימים אלו של סיום כתיבת העבודה מתכנן ראש הממשלה להעביר החלטה בממשלה בעניין הקמת צוות לבדיקת היתכנות של אי מלאכותי לתשתיות (ראה נספח), ואם לעבודתי זו היתה תרומה, ולו הקטנה ביותר לקבלת החלטה זו, על כך גאוותי.

מבוא

אז למה צריך איים מלאכותיים?

בעידן בו הולך ומתברר עד כמה גבולות הקבע היבשתיים של מדינת ישראל צפויים להיות מצומצמים בהיקפם, החלום על התרחבות טריטוריאלית, שאינה קשורה בתשלום פוליטי או מדיני, יכול להפוך למושך מאי פעם. הקמתם של איים מלאכותיים במי הים התיכון, לא הרחק מחופי הארץ, מהווה פיתוי השובה את דמיונם של מהנדסים ומצית את התלהבותם של יזמי נדל"ן ופוליטיקאים. כיוון התרחבות זה, החדש לכאורה, קיבל ביטוי לראשונה לפני כשמונים שנה במאמרו של דוד בן-גוריון "לקראת הים" בו כתב:

הים הגדול הזה נחשב לתחום המערבי של ארצנו. זוהי טעות נפסדת, שעלינו לעקור משורשה. מבחינה יישובית, כלכלית ופוליטית יש לראות בים התיכון לא את גבולה אלא את המשכה של ארצנו. על חוף הים לא מסתיימת הארץ אלא יבשתה בלבד. האפשרויות הכלכליות והיישוביות הצפונות בחובה של ארצנו מקומן לא רק ביבשה אלא גם בים (בן-גוריון 1932).

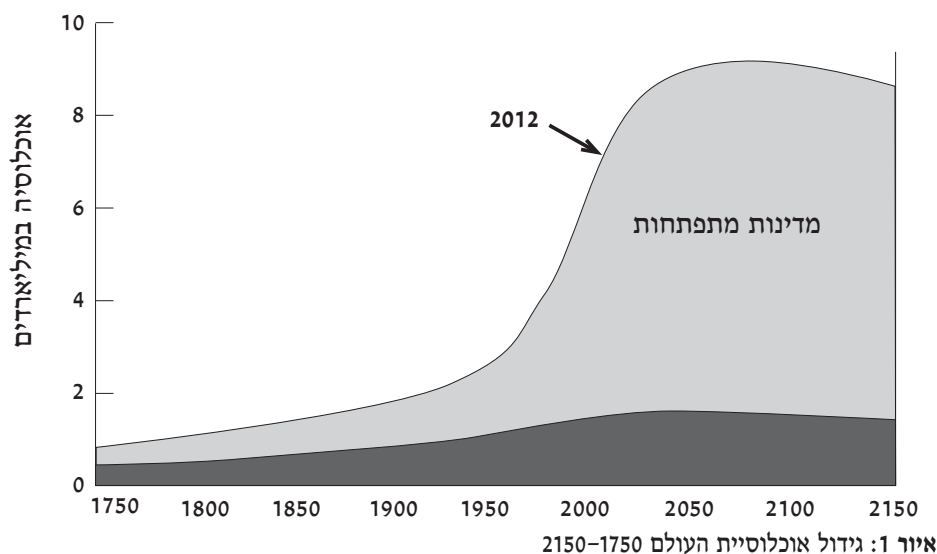
צפיפות ודמוגרפיה

אוכלוסיית כדור הארץ מונה למעלה משבעה מיליארד בני אדם. העולם המתפתח צפוי להכפיל את עצמו בתוך כחמישים שנה (איור 1). המזרח התיכון, ובתוכו בעיקר סוריה, ירדן, עיראק וישראל מתאפיינ בריבוי טבעי גבוה. הריבוי הטבעי בקרב אוכלוסיות אלה עומד על 2-2.5 אחוזים, והוא מהגבוהים בעולם בשנת 2011. משמעות הדבר הכפלת אוכלוסיית עמי האזור בתוך כארבעים שנה.

אחת הבעיות המרכזיות בתחזית זו היא כי נדרש בפרק זמן זה להכפיל את התשתיות עבור האוכלוסייה הגדלה, בין היתר, בתחומי המגורים, החינוך, אספקת המים וניקויים, התחבורה, האנרגיה ועוד. אם לא יוכלו מדינות אלה לעמוד במשימה של הכפלת התשתיות, יש לצפות לירידה ברמת החיים.

ישראל הינה אחת המדינות הצפופות ביותר בעולם. על פי נתוני הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה (2011), בסוף שנת 2010 הצפיפות בישראל (מספר התושבים המתגוררים בקמ"ר) היתה 334.5 נפשות לקילומטר רבוע (טבלה 1), והמגמה הולכת וגדלה עם השנים. לשם השוואה, בשנת 1948 היתה צפיפות האוכלוסייה 43.1 נפשות לקמ"ר, בשנת 1990, 220.4 נפשות לקמ"ר.

אף שהם מוצגים בבהירות רבה, נתונים אלה אינם משקפים את המצב האמיתי. נציין מספר עובדות: ב-2012 נחשבה הולנד, לפחות מהבחינה הפורמלית, למדינה הצפופה בעולם המערבי עם כ-403 נפש לקמ"ר; בלגיה נמצאת במקום השני עם כ-364 נפשות לקמ"ר; יפן עם 338 נפשות לקמ"ר, ובישראל



טבלה 1: צפיפות האוכלוסייה לקמ"ר יבשתי (נפשות קמ"ר)

(3)31 XII 2012	(3)31 XII R2011	(2)27 XII 2008	31 XII 1995	31 XII 1990	(2)4 VI 1983	(2)20 V 1972	(2)22 V 1961	(2)8 XI 1948	מחוז ונפה
353.1	347.1	323.1	247.4	220.4	186.7	154.8	107.6	43.1	סך כולל
1,512.2	1,482.5	1,384.6	1,035.6	922.4	754.2	554.0	344.5	159.5	מחוז ירושלים
295.2	290.7	277.7	211.4	178.9	145.7	142.3	101.4	44.2	מחוז הצפון
165.8	163.7	156.0	122.8	110.8	96.6	84.4	67.9	16.4	נפת צפת
202.3	199.0	191.7	154.8	142.9	120.2	95.2	83.1	38.2	נפת כנרת
391.9	386.9	370.4	286.5	237.5	194.2	145.1	100.4	50.3	נפת יזרעאל
637.1	626.4	596.9	440.3	369.8	295.2	206.6	136.8	59.6	נפת עכו
38.2	37.2	35.0	26.2	22.1	16.8				נפת גולן
1,084.9	1,069.2	1,025.7	860.9	768.4	673.7	566.5	433.6	209.2	מחוז חיפה
1,868.8	1,851.3	1,811.4	1,701.0	1,623.1	1,447.2	1,260.5	976.0	452.4	נפת חיפה
681.7	667.1	621.9	433.6	344.7	290.3	222.6	164.8	88.6	נפת חדרה
1,492.1	1,460.3	1,368.2	953.2	830.7	668.8	466.7	327.8	100.4	מחוז המרכז
1,219.5	1,199.9	1,122.9	790.8	678.4	547.1	412.3	294.7	108.2	נפת השרון
2,310.3	2,258.0	2,129.3	1,502.3	1,316.0	1,047.5	714.0	480.6	175.6	נפת פתח תקווה
922.5	900.3	826.6	483.6	394.6	351.5	286.0	218.9	14.4	נפת רמלה
1,665.5	1,628.4	1,533.5	1,150.2	1,002.7	782.3	484.0	334.6	109.8	נפת רחובות
7,657.5	7,570.9	7,318.5	6,678.6	6,439.4	5,883.8	5,336.7	4,113.5	1,834.0	מחוז תל אביב
80.8	79.3	75.2	53.0	40.7	33.9	25.1	12.3	1.5	מחוז הדרום
391.7	385.1	367.2	261.3	187.3	160.2	120.3	60.3	5.8	נפת אשקלון
50.4	49.3	46.6	32.4	26.1	21.4	15.7	7.6	1.1	נפת באר שבע

כפי שראינו "רק" 357 נפשות לקמ"ר. פורמלית הנתונים נכונים, אלא שבכל המדינות שצינו אין מדבר כמו הנגב התופס כ-60% מהשטח. אם נחשב את הצפיפות בישראל במקומות בהם בני אדם מתגוררים, קרי מבאר שבע וצפונה, תהיה הצפיפות בישראל כ-800 נפש לקמ"ר, כלומר המקום הצפוף ביותר בעולם המערבי.

ניתן גם להביא לדוגמה מקומות כמו מונאקו, שם הצפיפות היא כ-36,356 נפש לקמ"ר, במלטה 1,262 נפש לקמ"ר. אכן זה כך, אך אלה הם מקומות שנחשבים עיר-מדינה ולא מדינות. ב-2030 הצפיפות בישראל תהיה גבוהה יותר, שכן על פי התחזיות תמנה האוכלוסייה בישראל ב-2025, 9.2 מליון נפשות וב-2030, 9.9 מליון נפשות (ביסטרוב וסופר 2010). האוכלוסייה הישראלית תהיה ענייה יותר, שכן כמעט כל תוספת האוכלוסייה תהיה של ערבים ושל חרדים. שתי קבוצות אוכלוסייה עניות יחסית ומרובות ילדים. לפיכך, תזדקק ישראל למערכות תחבורה המוניות, מים, תחנות כוח והולכת חשמל, גז ושינוע חומרים מסוכנים ואחרים.

במדינה צפופה נלחמים על כל פיסת שטח ריקה, ומחירי הקרקע מאמירים והולכים. המחסור בקרקע יביא לניצול יתר של האדמות, תוך הזנחת הפיתוח הסביבתי ויצירת ערים של "שלמת בטון ומלט"¹, ללא ריאות ירוקות. תרבות "הבית הבודד עם גג הרעפים האדום", הנפוצה בחברה הישראלית איננה תואמת שטחים צפופים, וכשצפוף – דוחפים, מלכלכים, מתנהגים בגסות ובאלימות איש לרעהו. כל זה יהיה נכון שבעתיים במטרופולינים הגדולים של תל אביב וחיפה, שם הצפיפות כיום במטרופולין תל אביב היא 2,291.4 נפש לקמ"ר (טבלה 2), ובמטרופולין חיפה 1,033.3 נפש לקמ"ר. בשיא מחזיקה בני ברק עם 22,921.2 נפש לקמ"ר, וגלעין תל אביב-יפו עם 8,148.3 נפש לקמ"ר.

כדי לאפשר חיים במדינה מערבית כה צפופה הכרחי לתכנן לטווחים ארוכים. מדינה צפופה היא מדינה אלימה, מדינה המתדרדרת לעולם שלישי, מדינה שנוער חזק עוזב אותה, מדינה שנוער יהודי ממעט לחזור אליה. אין צורך ללכת רחוק כדי לראות את תוצאות הצפיפות הגבוהה במצרים, בהודו וכדומה.

פגיעה בכושר הנשיאה של הארץ – תוצאת ההתכנסות למרחב תל אביב היא כי ישראל מתקרבת מאוד לגבול כושר הנשיאה שלה. התופעה בולטת בעיקר במישור החוף שמוקדו בעיר תל אביב-יפו. שני שלישים מאוכלוסיית ישראל מתגוררים על קו המים של הים התיכון! עבור חברה מערבית, הזוללת שטחים עד בלי די, זוהי נורת אזהרה; ללא מקום לתשתית לאומית ומרחבים פתוחים, הנחוצים לשם שמירה על איכות החיים של מדינה מערבית, ישראל שועטת בדהרה אל מדינות העולם השלישי.

טבלה 2: יישובים, אוכלוסייה וצפיפות לקמ"ר לפי מטרופולין (נפשות קמ"ר)

% גידול שנתי % annual growth	צפיפות לקמ"ר Density per sq. km.	אוכלוסייה				יישובים Localities 31 XII 2012	טבעות, גזרות ויישובים נבחרים
		ערבים Arabs	מזה: יהודים Thereof: Jews	יהודים ואחרים(1) Jews and others(1)	סך הכל Total		
1.7	2,291.4	177.7	3,122.2	3,286.5	3,464.1	254	מטרופולין תל אביב
1.4	8,148.3	17.2	378.7	397.3	414.6	1	גלעין (תל אביב-יפו)
1.0	7,504.4	1.3	853.2	902.5	903.7	13	טבעת פנימית
0.8	3,155.9	0.1	130.7	134.4	134.5	4	גזרה צפונית
1.4	11,009.3	0.4	430.2	442.0	442.4	5	גזרה מזרחית
3.0	22,921.2	0.0	167.0	168.7	168.8		מזה: בני ברק
1.2	17,232.3	0.0	54.1	55.7	55.7		גבעתיים
-0.2	9,036.7	0.3	140.9	148.1	148.4		רמת גן
0.7	8,688.0	0.8	292.3	326.1	326.8	4	גזרה דרומית
0.3	15,764.4	0.5	108.4	128.9	129.4		מזה: בת ים
0.9	9,777.5	0.2	172.4	185.1	185.3		חולון
2.0	3,723.6	36.5	991.8	1,046.5	1,083.0	31	טבעת תיכונה
1.8	4,046.4	0.2	206.2	211.6	211.8	6	גזרה צפונית
0.3	4,679.9	0.0	67.8	69.1	69.2		מזה: רעננה
2.0	4,183.3	0.3	267.8	285.0	285.3	8	גזרה מזרחית
1.8	6,000.9	0.2	197.4	213.7	213.9		מזה: פתח תקווה
2.1	3,440.5	36.0	517.8	550.0	586.0	17	גזרה דרומית
1.3	4,005.4	0.2	218.7	235.0	235.1		מזה: ראשון לציון
2.1	1,012.6	122.6	898.6	940.2	1,062.8	209	טבעת חיצונית
1.8	1,143.4	89.1	336.8	352.8	442.0	97	גזרה צפונית
0.3	2,017.4	38.1	0.0	0.0	38.1		מזה: טייבה
1.5	6,615.5	0.4	178.3	191.7	192.2		נתניה
3.1	906.9	33.0	219.5	222.0	254.9	47	גזרה מזרחית
3.4	1,715.6	0.0	81.3	82.9	82.9		מזה: מודיעין - מכבים - רעות
1.9	957.9	0.5	342.2	365.4	365.9	65	גזרה דרומית
1.0	4,658.3	0.2	195.1	214.7	214.9		מזה: אשדוד

הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה 2013

על בסיס האמור לעיל ישראל העתידית תהיה מושפעת ממספר כיווני התפתחות:

1. תחזיות לגידול אוכלוסייה עד כדי תוספת של 50% לאוכלוסיית המדינה.

2. נטייה הולכת וגוברת של עיור, עד כ-95% מהאוכלוסייה תהיה עירונית.

3. פריסת האוכלוסייה, למרות ניסיונות ושלל תוכניות לפיזור האוכלוסייה לנגב ולגליל, מגמת התרכזות האוכלוסייה במישור החוף נמשכת וצפוי שתגיע לממדים של כ-80% מכלל האוכלוסייה.

4. צפיפות האוכלוסייה הולכת וגדלה במישור החוף, 2,291.4 נפש לקמ"ר במטרופולין תל אביב, כפי שתואר לעיל.

5. עלייה ברמת החיים, אשר גורמת להגדלת השטח הבנוי לנפש למגורים וכן להגדלה בשטחי נופש, מסחר, תשתיות ועוד.

היבט נוסף של המגמות שהוזכרו לעיל נוגע לנושא התשתיות. מתקנים שהוקמו לפני עשרות שנים נמצאים כיום בסמיכות רבה ליישובים שהוקמו והתרחבו. מגמת המשך גידול האוכלוסייה, בעיקר באזורים המטרופוליניים בישראל, בנוסף על הצורך בפיתוח ותוספת מתקני תשתיות חיוניים לתעופה, ייצור אנרגיה ומים, טיפול בחומרים מסוכנים ואחרים מביאים לקונפליקט בלתי נמנע בין צרכי הפיתוח האורבני לבין מתקני ומערכות התשתיות המשרתים אותו. קונפליקט זה אף מתעצם עם העלאת המודעות וקידום התקינה בכל הקשור להיבטים סביבתיים ולסיכונים לאדם ולסביבה, העלולים להיגרם על ידי מתקני תשתית אלה.

כתוצאה ממגמות אלה יהיה צורך להגדיל שטחי קרקע באזור החוף. ישראל התברכה בכ-190 ק"מ של חוף ים, מהם 60 ק"מ של חופים אורבניים, 50 ק"מ נוספים סגורים ומנוצלים לתעשייה, נמלי ים וצבא, 15 ק"מ מתוכננים להקמת מרינות ו-15 ק"מ מתוכננים להקמת כפרי נופש. חשבון זה משאיר כ-50 ק"מ בלבד של חופים פתוחים וטבעיים.

מהם הצרכים הצפויים בנושאי תשתיות?

מתקני אנרגיה

תחנות כוח: בעתיד הרחוק יהיה צורך באיתור שטחים נוספים, רצוי בקרבה לחופי הים, להמשך הקמת תחנות כוח. במידה ולא תהיינה פריצות דרך טכנולוגיות יוקמו תחנות כוח נוספות על בסיס דלק פוסילי וגז טבעי בהספקים של עשרות אלפי MW בין השנים 2020-2050. צרכי השטח לתחנות הכוח יהיו בסדרי גודל של אלפי דונמים על פי מפתח משוער של כ-0.1 דונם לכל 1 MW הספק מותקן.

מסוף גז"ן (גז טבעי נוזלי LNG): נראה כי הצורך במסוף גז"ן חיוני לייבוא ויתכן שאף לייצוא.

שדות תעופה

התפתחות התעופה מחד גיסא והעלייה באיכות החיים מאידך גיסא יוצרות מצב של ביקוש עולה לשירותי תעופה ובמקביל דרישה לשמירה ושיפורים בתחומי איכות הסביבה.

שדה תעופה בינלאומי – שדה התעופה העיקרי, נתב"ג, אמור לקלוט עד 16 מיליון נוסעים בשנה. על פי תחזיות הנוסעים נראה כי החל משנת 2020 יצטרך לפעול שדה תעופה בינלאומי נוסף.

שדה דב – למרות החשיבות בקיומו של שדה תעופה מקומי באזור מטרופולין תל אביב, שדה דב הוא כיום מטרד של רעש, זיהום ותנועה. כיום גורמים מיקומו של השדה ותכנונו המיושן לבעיה קשה של שימושי קרקע במקום שהוא מהיקרים בארץ. לכן הצורך בפינוי השדה ברור ויתרונותיו רבים. בשדה דב מתקיימת גם פעילות צבאית. עמדת משרד הביטחון היא שהפעילות הצבאית יכולה ככל הנראה להיטמע באתרים אחרים.

מתקני התפלת מים

בטווח הארוך מסתמן צורך בהמשך הקמת מתקני התפלת מי ים כמקור עיקרי לגישור הפער בין ההעשרה הטבעית של מקורות המים והתנודות הרב-שנתיות שלהם, לבין מגמת הגידול העקבי בצריכת מים.

אתרים נוכחיים ומתוכננים של מתקני התפלה יכולים לתת פתרון לטווח זמן בסדר גודל של כעשר השנים הקרובות. יש להניח, כי איתור שטחים לתפוקה נוספת יתאפשר גם מעבר לכך, אך ברמת קושי הולכת וגוברת ובעלויות חיצוניות הולכות וגדלות.

לאור כל האמור לעיל, נראה כי הקמת מתקני התפלה על איים מלאכותיים יכולה לבוא בחשבון בטווח הארוך של עשרים שנה או יותר, הן לאור הצרכים וצפיפות שימושי הקרקע לאורך הרצועה החופית והן לאור יתרונות ספציפיים מעצם הקירבה למקור מי הגלם ומוצא מי הרכז, הקירבה למקור האנרגיה – קו הגז הטבעי הימי, והקירבה לריכוזי האוכלוסייה שבמישור החוף.

מתקני טיפול בשפכים

המדיניות התכנונית, המתבטאת בעיקר בתמ"א 34, מצביעה על המשך השימוש במתקני טיהור השפכים הקיימים תוך שדרוגם והגדלתם כפתרון עד שנת 2020. מתקני טיהור שפכים מעטים חדשים שהוצעו בתכנית כבר נמצאים בשלבי תכנון וביצוע (נהריה ועכו).

מתקן שריפת הבוצה במכון טיהור שפכי גוש דן (שפד"ן) יוכל לקלוט גם בוצה ממתקני טיהור שפכים אחרים, אך באופן כללי יש מקום כבר כיום לשקול הקמת מתקן ארצי מרכזי או מספר מתקנים

אזוריים לקליטת ושריפת בוצה. יתכן כי בטווח הארוך של שלושים שנה ויותר יידרשו שטחים נוספים, אשר יקשה לאתרתם באזור מישור החוף ההולך ומצטופף, אף כי יתכן וצרכים אלו ייפתרו באמצעות טכנולוגיות חדשות וקומפקטיות.

נמלי ים

תכניות פיתוח הנמלים הנוכחיות נותנות מענה לצרכי המדינה במטענים ימיים לטווח ארוך יחסית של כ-30 עד 40 שנה. היקף המטענים עשוי להשתנות בתחום רחב כתוצאה מהתפתחויות כלכליות, בעיקר גאופוליטיות ומגמות בספנות הסחר הבינלאומית. מצוקת השטחים של הנמלים הינה בעיקר בשטחי העורף, הנדרשים לתמיכה בפעילות הספנות. כדי ליצור תאי שטח נוספים, הצמודים לשטחי הנמל ומאפשרים תפעול יעיל נדרש פינוי מתקני תשתית וכן שטחים מסחריים שונים הנמצאים על גבול הנמלים. מתקנים אלה כוללים בחיפה בין היתר את תחנת הכוח, מסוף ואחסון כימיקלים ועוד. על ידי העתקת מתקנים מעורף הנמלים ניתן להשיג מספר מטרות:

- פינוי שטח ישיר להרחבת הנמלים.
- הסרת מגבלות בנייה וסיכונים בפועל הנובעים מאופי החומרים המסוכנים.
- מתן מענה לפיתוח עתידי נוסף של המתקנים המועתקים.

מתקני פסולת מוצקה

הפסולת המוצקה בישראל גדלה בטווח הארוך בכמויות גדולות. גם אם ימומשו הכוונות להפחתה במקור והשבה, יידרשו שטחים גדלים והולכים להטמנה. פתרון עתידי אפשרי הינו הקמת משרפות לפסולת ביתית. צרכי השטח להטמנה יגיעו למאות רבות ואף לאלפי דונמים בטווח של עשרות השנים הקרובות. למשרפות פסולות בקיבולת של 1,000 טון פסולת ליום יידרש שטח של מספר עשרות דונמים בלבד.

פסולות מיוחדות – בניין, עודפי עפר, אפר פחם – יכולים לשמש מקורות משניים של חומרי מילוי בהקמת איים מלאכותיים.

מתקנים צבאיים

מתקנים אלה יכולים לכלול:

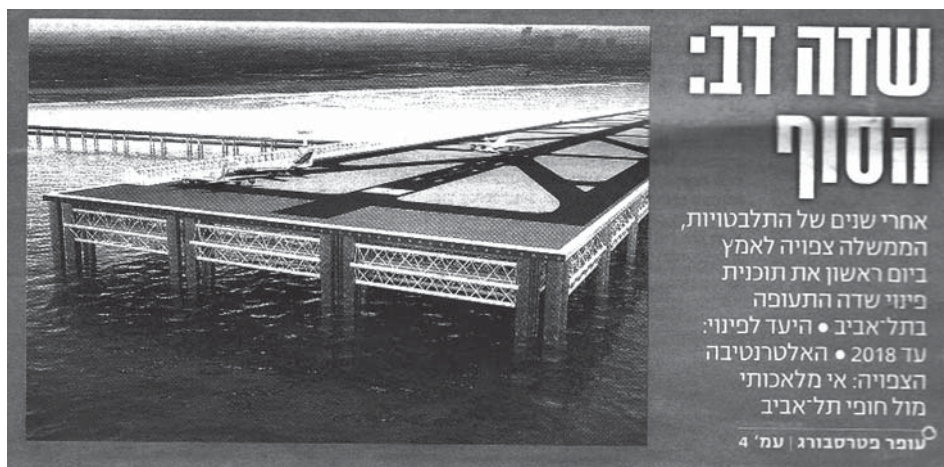
- מתקנים בעלי זיקה לים, בעיקר בסיסים ומעגנות של חיל הים.
- מתקני תשתית מהסוגים שנכללו לעיל, הנמצאים גם בשימוש צבאי – שדות תעופה צבאיים, מתקני אחסון דלק צבאיים, מתקנים שידור גדולים.

- מתקנים צבאיים מיוחדים בעלי מאפיינים המתאימים למיקום על אי מלאכותי עקב טווח השפעות רחב, כגון מצבורי תחמושת.
- מתקן ניסויים מרכזי במקום מתקן הניסויים הקיים כיום ומטיל מגבלות רבות על שטחים נרחבים בסמיכות לאזורים מיושבים.

איים מלאכותיים כפתרון למצוקת התשתיות

במהלך השנים האחרונות הועלו על ידי גורמים שונים מספר רעיונות להרחבת עתודות הקרקע בישראל על ידי בניית איים מעשה ידי אדם בים, ייבוש שטחים מהים, הקמת איים צפים, או איים על כלונסאות, כפי שמבוצע או מתוכנן לביצוע במקומות שונים בעולם.

ההיסטוריה של רעיון האיים המלאכותיים בישראל החלה עוד בשנות השישים על ידי חוקרים מהטכניון כמו שלף וצימלס (1996) (צימלס שלף ובעז (1996)). שאשא כתב על כך במכללה לביטחון לאומי עוד ב-1995. מיכאל בייט חוקר מהמשרד לתשתיות כתב על האיים המלאכותיים ב-1999 ובאותה השנה כתבו על האיים חוקרים מאוניברסיטת תל אביב (קרן ושטרן 1999). הנושא שוב הועלה בשנות ה-2000 על ידי חוקרי ים התיכון, כמו ניר, דורי ובן-ארי (2001) ושוב על ידי יעקב ניר ב-2005. אנשי הטכניון, פרופ' מיכאל בורט וד"ר מיכאל קון מנסים לקדם את רעיון הקמת איים מלאכותיים מול חופי תל אביב וחיפה. הגדיל לעשות פרופ' בורט (2010) אשר הגה את רעיון "השדרה הכחולה", סדרה של איים לאורך חופי ישראל. הוא הציע שיטות מקוריות לבניית שוברי גלים ספוגיים ובניית איים, אשר מקטינים משמעותית את הצורך בחומרי מילוי (על כך אפרט בפרק השני שיעסוק בשיטות טכנולוגיות לבניית איים מלאכותיים).



המהנדס, הוגו מרום ניסה לקדם את רעיון העתקת שדה דב לים (שליין 1999), נושא שעלה על הפרק פעם נוספת בימים אלו על שולחן הממשלה (איור 2). למעשה, בשנת 1973 פורסם מכרז להקמת אי מלאכותי לשדה דב, אולם בשל מלחמת יום הכיפורים בוטל המכרז.

במטרה להיערך למתן פתרונות לתחזיות של גידול האוכלוסין בישראל החליטה ממשלת ישראל לבחון היתכנות להקמת איים מלאכותיים נוכח חופי ישראל בים התיכון. בשנת 1996 חתם ראש הממשלה דאז, מר שמעון פרס, על מסמך הצהרת כוונות עם ראש ממשלת הולנד מר וים קוק, לשיתוף פעולה ומחקר בנושא הנדסת חופים. למימוש האמור לעיל הוקמו ועדות היגוי בהולנד ובישראל והוקצב לנושא תקציב של שני מליון דולר.

בדיקת ההיתכנות נערכה ביו השנים 1997–2000 ועיקרי מסקנותיה הוגשו לשר התשתיות הלאומיות, כולל דוח ביניים ב-1998, ודוח סופי בפברואר 2000. עיקרי מסקנות הדוח:

- קיימת היתכנות סביבתית, טכנולוגית, משפטית וכדאיות כלכלית.
- בעיקר לשימושים המטילים מגבלות על סביבתם (מתקני תשתית ויבנות תעופה).
- קיים חוסר במצאי חומרי מילוי.
- נדרשת תכנית מתאר לאיים ולמערכת התחבורה המשרתת אותם.

בעקבות הדוח התקבלה החלטת ממשלה² בדבר הקמת איים מלאכותיים בחופי ישראל. בנוסף, התקבלה החלטת הקבינט החרתי-כלכלי מיום 3/6/2001 שאישרה את המלצות ועדת המנכ"לים כדלקמן:

- להמשיך לאסוף ולעבד נתונים לצורך יצירת התשתית התכנונית הדרושה להקמת איים מלאכותיים.
- לקדם הוראה של המועצה הארצית לתכנון ובנייה בדבר עריכת סקר וגיבוש מדיניות בכל הנוגע להקמת איים מלאכותיים בחופי ישראל.

ואכן בשנת 2007 פורסם מסמך מדיניות לאיים מלאכותיים לתשתיות³ שעיקרי המלצותיו:

- שימוש באיים מלאכותיים למתקני תשתית בלבד.
- מימון הפרויקט באמצעות פינוי קרקע מתשתיות באזורי תפוסה.
- כדאיות להקמת איים קטנים (מאות דונמים) עבור תשתיות.
- הקמת אי ראשון כפרויקט חלוץ (פיילוט) ללימוד הנושא.

2 החלטת ממשלה מספר כל/86 מיום 18/12/2000.

3 מסמך מדיניות לאיים מלאכותיים לתשתיות, משרד הפנים – מנהל התכנון, יולי 2007.

אזכור נוסף לאי מלאכותי היה בדוח ועדת האלוף בודינגר בנושא שדות התעופה בישראל,⁴ בו נכתב: שדה תעופה על אי מלאכותי ביים התיכון: הוועדה מוצאת כי יש צורך בקידום תכנון עבור שדה תעופה על אי ביים, אך מציינת כי פתרון זה מעלה שלל בעיות, כמו מחיר הפרויקט, חוסר הניסיון הבינלאומי בבניית אי מלאכותי ביים הפתוח, פגיעה בחוף ובמערכותיו. יצוין כי חוף היים הוא נכס לאומי (משאב שהולך ומצטמצם).

הוועדה ממליצה להוסיף לתמ"א 15 שדה תעופה על אי מלאכותי ביים התיכון, כשדה תעופה בדרגה 1 ולקדם את התכנון המפורט עבורו בשלבים.

ניצול היים להגדלת הרזרבה הקרקעית, הן על ידי ייבוש חלקי חוף, הן על ידי בניית שלוחות ים (מעייני חצי אי) והן על ידי הקמת איים מלאכותיים, היא אפשרית מבחינה טכנולוגית. בעולם הצטבר ניסיון רב בניצול היים לצרכים אלו.

גם בישראל נרכש מעט ניסיון בייבוש היים ושלוחות ים, בעיקר בפרויקט הרחבת נמל אשדוד, 'נמל היובל' (איור 3), שנחנך ב-2005, וכולל הרחבה של 1,150 מטרים למזח הראשי ו-1,700 מטרים של רציפים חדשים בעומק ים של 15.5 מטרים.



איור 3: נמל היובל - אשדוד

4 הוועדה הציבורית לבחינת תכנית אב לשדות תעופה בישראל, דוח מסכם, הוגש לשר התחבורה שאול מופז, ינואר 2009.

הקמת איים מלאכותיים, על אף היותו פרויקט עתיר טכנולוגיה ועתיר משאבים, יכול להוות פיתרון טוב לשורה של צרכים ובעיות הן מהבחינה הכלכלית והן מהבחינה הסביבתית, ככל שעלויות הפיתוח של אי כזה תרדנה כתוצאה מהתפתחות הטכנולוגיות, וככל שמחירי המקרקעין לאורך החוף ימשיכו לעלות, כך תגדל הכדאיות הכלכלית שבהקמתו.

פיתוח בסביבה הימית יאפשר העברת שורת מתקני תשתיות ותעשייה מאזורי חוף עירוניים לאיים מלאכותיים, דבר שישחרר עתודות קרקע גדולות ביבשה לשימושים חלופיים מחד גיסא, ומאידך גיסא ירחיק ממנה מפעלים, הפוגעים באיכות הסביבה כמו: נמלי ים ואויר, תחנות כוח, תעשיות מזהמות, מאגרי דלק וגז וכדומה.

היבט נוסף של הקמת איים מלאכותיים שבכוונתי לבדוק, הינו הסוגיה המדינית וסוגיית השלום. המערך האורבני של איים מלאכותיים מהווה פתח לחזון עתידי, כאשר השלום יפתח את דלתותיו והבנייה בסביבה הימית תהווה את הדגל לדו-קיום לשלום בפיתוח אזורי תשתית, תיירות, אזורי מסחר, אזורי נופש, אזורי מגורים, אזורי תעשייה, שדות תעופה וכדומה. הרעיון של הקמת איים מלאכותיים מול חופי עזה יכול לסייע בפתרון הבעיה של צפיפות האוכלוסייה ולהשתלב בפתרון המחלוקת הטריטוריאלית בין ישראל לפלסטינים. רעיון הקמת האיים מנסה לשבור את הנחת היסוד, שלפיה מחלוקות טריטוריאליות חייבות להיפתר על בסיס העיקרון של "סכום אפס". כלומר, רווח ישראלי מחייב הפסד פלסטיני ולהיפך. בניית איים מלאכותיים מול חוף הים התיכון היא חלק מתפיסה אסטרטגית, הרואה את מקורות הקרקע בים כאחד הפתרונות למחסור בקרקע ביבשה ולבעיית צפיפות האוכלוסייה, בצד הישראלי ובצד הפלסטיני כאחד.

מתודולוגיה

מטרות העבודה הנוכחית הן לבחון, נכון להיום, את ההיבטים השונים של הקמת איים מלאכותיים בחופי ישראל:

1. בחינת תרומת תוספת הקרקע לישראל על ידי הקמת איים מלאכותיים בים לתשתיות, מסחר, תיירות ומגורים, תוך סקירת שיטות הקמה ועלויות.
2. הצגת המגבלות והסיכונים הניצבים בפני ישראל בבואה לממש פרויקט מסוג זה, בהיבטים ההנדסיים, כלכליים, סביבתיים, מדיניים ומשפטיים, ובחינת הכדאיות של ישראל להיכנס לפרויקט שהוא עתיר משאבים ומורכב טכנולוגית.
3. בחינת תרומת איים מלאכותיים לסוגיות כמו תהליך השלום.

בכוונתי לסקור את הרקע וההיסטוריה של הקמת איים מלאכותיים מאז החלו במאה ה-17 ועד ימינו במקומות שונים בעולם על מנת שניתן יהיה ללמוד מניסיונם של אחרים. מאפייני החוף בישראל הם ייחודיים. יש בדעתי לבחון את השיטות הטכנולוגיות הנהוגות בעולם ואת התאמתן לשימוש בחופי ישראל. כמו כן אנסה לבחון מספר שיטות חדשות שטרם נוסו בשום מדינה בעולם ויכולים אולי להתאים לחופי ישראל. אנתח את מאפייני החוף בישראל מבחינת מגבלות, קשיים וההזדמנויות שאיים מלאכותיים יכולים לתרום לחוף הישראלי, והראשי שבהם הוא נושא חומרי מילוי והסעת החולות.

נושא נוסף שבכוונתי לבחון הוא ההיבטים הסביבתיים של הקמת איים מלאכותיים, שהוא בעל משמעות גדולה טרם החלטה על אישור פרויקט מסוג זה. בשנים האחרונות עלתה במידה רבה המודעות לכל נושא שמירת והגנת הסביבה וראוי להקדיש לכך פרק נפרד בעבודה זו. כמובן שאי אפשר לבחון כדאיות של הקמת פרויקט עתיר טכנולוגיה ומשאבים, כמו איים מלאכותיים, מבלי לבחון את ההיבטים הכלכליים והמשפטיים שלו ולהיבטים אלו אקדיש שני פרקים נוספים. לבסוף אנסה לתאר זווית קצת אחרת של נושא הקמת איים מלאכותיים נוכח חופי ישראל, ובמסגרת זו אבחן בקצרה את הרעיון להקמת איים שכאלה מול חופי עזה, והשפעתם על התהליך המדיני מול הפלסטינים.

פרק ראשון: מהנעשה בעולם בתחום האיים המלאכותיים

מספר מדינות בעולם, בהן קיימת בעיה של זמינות קרקע וצפיפות אוכלוסין, הקדישו מאמץ ואמצעים רבים לכיבוש יבשה בים. המובילות שבהן הן יפן, הולנד, בלגיה, סינגפור, דובאי והונג קונג. גם לישראל יש ניסיון מועט, בעיקר איזור נמל חיפה והעיר התחתית שהוקם על קרקע שיובשה מהים, וכן נמל ה'יובל' באשדוד. מדינות אלה יצרו שלוחות יבשה בהמשך לקו היבשת הטבעי על ידי מילוי או בניית סוללות ושוברי גלים.

איים מלאכותיים ממש, המופרדים מהיבשה נפוצים מאוד ביפן, בה ישנם מעל 100 איים מלאכותיים בשטח של מאות דונמים. גם ביפן יש בעיה קשה של צפיפות אוכלוסין, בשל אופייה הגאוגרפי. רוב שטחה של יפן הוא הררי, ורק כ-20% משטחה ראויים ליישוב, רובם לאורך החוף. צמיחת המשק היפני, המחסור בנמלים ושיקולים של איכות הסביבה הביאו את היפנים לפעול לניצול הים לצרכים כלכליים תעשייתיים, לצרכי הרחבת תשתיות ולצרכי מגורים.

הפילוסופיה שמאחורי ההחלטה היפנית ומקומות אחרים בעולם לבנות איים מלאכותיים היא ניסיון לנצל את השילוב של אדמה ומים באזור חוף מפותח כדי להוסיף לו ערכים אחרים. הראייה הבסיסית היא כלכלית, והמוטיבציה העיקרית היא להביא להמשך צמיחה כלכלית של המשק הרלבנטי. האיים משלבים פעילות כלכלית, מסחרית, בנייה למגורים ופעילות נופש. התפיסה הבסיסית היא בראיית האי כאתר משולב, תוך יצירת אינטראקציה עם החוף ושמירת האיזון הסביבתי מבחינת המים, החי והצומח באזור.

עם הפריחה הכלכלית בשנות העשרים והשלושים של המאה הקודמת נבנו ביפן איים מלאכותיים רבים, בעיקר מול הערים טוקיו, יוקהמה ואוסקה, אשר שימשו לצרכי תעשייה. עם עליית צפיפות הערים בשנות השבעים והשמונים והפריחה הכלכלית ביפן בנו איים מלאכותיים, בהם הוסט מרכז הכובד מתעשייה ותשתיות לשימושים עסקיים ולמגורים. תמורות אלו מצביעות על החשיבות הכלכלית הגוברת בעולם המודרני של מרכזי עסקים ומגורים, דבר הישים גם לגבי תכנון איים מלאכותיים נוכח חופי ישראל.

תנאי הים ביפן, באופן כללי, גרועים מתנאי הים התיכון (על כך נדון בהמשך). מסיבה זו מתוכננים רוב האיים המלאכותיים באזורים יחסית סגורים כמו הים הפנימי של סטו ומפרץ טוקיו. מאפייני הים ביפן הם:

- שיפועים גדולים של קרקעית הים הנובעים מהמבנה הגאוגרפי של הארץ.

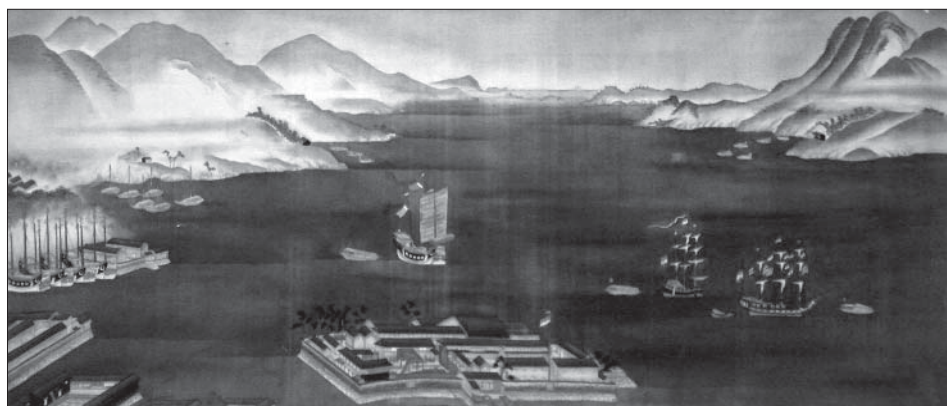
- הקרקעית באזורים המדוברים עשירה בסחף וברבדי חרסית. חומרים אלה מקטינים את יציבות הקרקע לכן השפעתם על ביסוס היא שלילית. דבר המחייב פעילות יקרה לייצוב הקרקעית לפני הקמת האיים.
- ביפן פעילות וולקנית ורעידות אדמה הן תופעות שכיחות, העלולות לפגוע ביציבות האיים ונדרש תכנון עם מקדמי ביטחון גבוהים, ושימוש בטכנולוגיות מתקדמות לעמידות בפני רעשים.
- בימים של יפן קיימת שכיחות לסערות טייפון, שעלולות להרוס את קירות המגן של האי ולפגוע ביציבותו.

למרות הקשיים הללו הוקמו ביפן עשרות רבות של איים מלאכותיים, החל לשימוש תעשייתי ותשתיתי וכלה בעסקים ומגורים. בבדיקות מקדמיות שביצעו היפנים ביחס להשפעה שיש להקמת איים מלאכותיים על הכלכלה המקומית, נמצא כי הקמת אי מלאכותי יוצר אפקט של הגברת התפוקה, תעסוקה, הכנסות מעבודה וממסים והתעוררות משמעותית של הכלכלה המקומית.

רוב האיים ביפן נבנו מחומר מילוי ממוצא יבשתי, באמצעות יישור גבעות והרים תלולים והכשרת חומר הסלע למילוי עבור האיים. לשיטה זו יתרון כפול; יישור השטח יצר שטחים נוספים ומיושרים על היבשה לפיתוח נוסף.

דוגמאות מהעולם

נסקור עתה מספר פרויקטים בולטים של איים מלאכותיים ביפן ובעולם. האי המלאכותי הראשון ביפן מכונה דג'ימה (Dejima) והוא ממוקם במפרץ נגאסקי (איור 4). האי נבנה בשנת 1634, בגודל של כ-9 דונם, והוא שימש כתחנת סחר הולנדית בזמן ההסתגרות שהונהגה בתקופת אדו, בין 1641 ל-1853.



איור 4: האי דג'ימה ומפרץ נגאסקי (מקור: <http://jchatoff.wordpress.com/tag/dejima-island>)

תחנת הסחר של חברת הודו המזרחית ההולנדית בדגימה נסגרה ב-1857, לאחר שסוחרים הולנדים הורשו לסחור בעיר נגסאקי עצמה. לאחר מכן הוקף האי בהדרגה בקרקע שיובשה מן הים, ובסופו של דבר התמזג עם נגסאקי.

בסינגפור הוקם האי ג'ורונג (Jurong Island). בנייתו הושלמה בספטמבר 2009. האי הוקם לצורך פיתוח תעשיות כבדות במדינה אשר אחת מבעיותיה היא עתודות שטח לפיתוח. בשנת 2010 התחבר אל האי פלאו בואיה, וגודלו של האי כעת הוא כ-32 קמ"ר, והוא הגדול מבין האיים המרוחקים של סינגפור. האי נמצא באזור תעשייתי ומהווה מרכז לתעשיות פטרוכימיות (איור 5), באי ישנן תשתיות בסיסיות לאספקת מוצרים נדרשים לתעשיות אלה ובהתאם לכך מהווה מוקד משיכה לחברות בינלאומיות רבות. סינגפור שמה לה למטרה להרחיב את שטחה מדי שנה בכ-6 עד 7 אחוזים, נתון מעורר ספקות, אך הגישה והכיוונים ברורים.

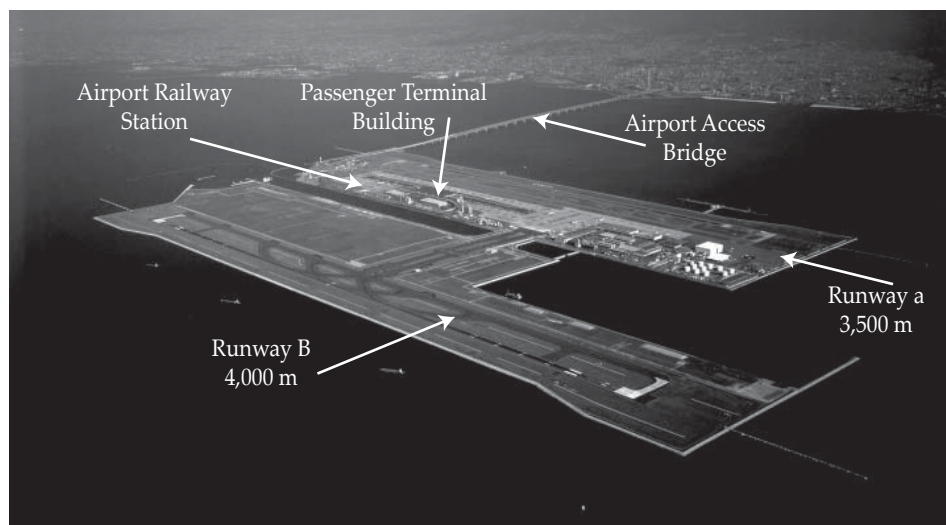


איור 5: האי התעשייתי, ג'ורונג בסינגפור (Jurong Island) (מקור: <http://www.chemicals-technology.com/projects/croda>)

ביפן קיימים 5 שדות תעופה מחוץ לקו החוף: נגסקי (Nagasaki), קנסאי (Kansai), קהובו (Chubu), קובה (Kobe) וקיטאקיושו (Kitakyushu). חלק משדות תעופה אלו יתוארו להלן:

שדה התעופה קנסאי (איור 6), הוקם על אי מלאכותי במפרץ אוסקה (הרשמן 2007). הבנייה ארכה חמש שנים, חלקה הראשון הסתיים ב-1989, וחלקה השני ב-2007. האי, ששטחו כ-5,000 דונם, מרוחק חמישה קילומטרים מהחוף. עומק הים במקום הקמתו הוא 18 מטרים, והאי המלאכותי מתנשא לגובה של 33 מטרים מעל קרקעית הים. כדי להקים אותו השתמשו מהנדסי קנסאי ב-178

מיליון מטרים מעוקבים של חול, שנועדו לחזק את קרקעית האוקיינוס ולתמוך ביסודות – קורות המתכת שעליהן נבנו המסלולים ומתקני בית הנתיבות. אורכו של מסוף הנוסעים 1,680 מטרים ושטחו 291,269 מטרים רבועים. הוא נבנה על גבי עמודים המצוידים במגבהים הידראוליים, שעליהם הותקנו חיישנים משוכללים, המודדים את התנודות בקרקעית הים ותורמים להגנת המבנה כולו מהווצרות סדקים ומהתמוטטות.



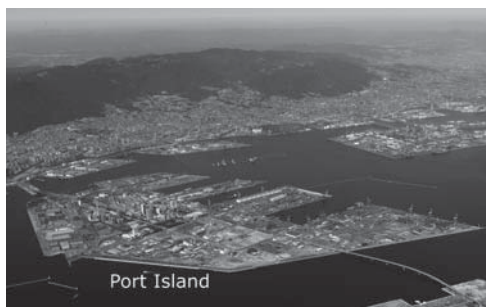
איור 6: שדה התעופה הבינלאומי של קנסאי

160,000 טיסות נוחתות וממריאות מדי שנה בשדה התעופה קנסאי; 30 מיליון נוסעים ויותר ממיליון טונות מטען יוצאים מהאי המלאכותי ל-62 יעדים ברחבי העולם ול-29 ערים ביפן. קנסאי, המכונה על ידי היפאנים "השער לעולם", הוא נמל התעופה הגדול במדינה והצומת המרכזי וההומה ביותר של התחבורה האווירית באזור האוקיינוס השקט. הדרך מקנסאי אל החוף נמצאת על אחד הגשרים הארוכים בעולם – 3.5 קילומטרים. על פניו עוברת אוטוסטראדה, ומתחתיו – מסילת רכבת. נדמה שפרויקט קנסאי משקף היטב את אופייה המערבי של אוסאקה. רוב המדינות המתועשות מתמודדות בעשורים האחרונים של המאה ה-20 עם בעיות הנגרמות מתנועת מטוסים גוברת בנמלי התעופה הבינלאומיים, הממוקמים בדרך כלל סמוך למרכזים עירוניים. הקמת שדות תעופה על איים מלאכותיים ויצירת גישה ישירה ויעילה למרכזי הערים הן, ללא ספק, חלופה מומלצת. חלופה זו עדיפה על בניית שדות תעופה באזורים נידחים, המרוחקים מיעדיהם של הנוסעים והמטענים.

הנמל הימי שבקובה יפן נקרא Port Island (איור 7), והוא הוקם על שטח כולל של 8,000 דונם בשלושה שלבים בין השנים 1966–1981. שטחו כ-4,500 דונמים, הנמל משתרע על 1,500 דונם

ובו מעגנים לאוניות מכולה ואניות סוחר, יחד עם זה משולבים באי גם בנייני מגורים ומשרדים, מרכז ירידים וכנסים ואזורי בידור. בסמוך אליו הוקם Rokko Island, ו-Kobe Airport (איור 8), אשר יחד מהווים קומפלקס תשתיתי עבור נמל ימי, אזורי מסחר ותעשייה ואף שטחים עבור טיפול וסילוק פסולת מוצקה.

בשנת 1995 אירעה רעידת אדמה באזור העיר קובה שמרכזה היה לא רחוק מהאי המלאכותי. על אף ההרס הרב באזורי העיר (כ-85,000 בניינים נהרסו, כ-5,500 הרוגים), גילה האי עמידות רבה, שום בניין לא התמוטט, לא היו באי קורבנות בנפש והנזקים הצטמצמו לאזור קו המים בלבד.



איור 8: שדה התעופה של קובה (מקור: http://oceansjsu.com/105d/exped_3D/8.html)

איור 7: נמל ימי Port Island, קובה (מקור: http://www.kptc.co.jp/e_berth_outline.html)

באזור אחר של העולם, באיחוד האמירויות הערביות (United Arab Emirates), בעיר דובאי, מוקם בשנים האחרות פרויקט גרנדיוזי של איים מלאכותיים בשם, Palm Islands (איור 9). הפרויקט הוקם באמצעות שתי חברות – בלגית והולנדית – והוא מיועד בעיקר לתשתיות מסחר ומגורים. הפרויקט כולל בשלב זה שלושה איים: ג'ומיירה (Palm Jumeirah), עלי ג'בל (Ali Palm) (Jebel), דיירה (Palm Deira). לאיים צורת דקל שמעליו סהר המשמש כשובר גלים, בכל אי יש מספר גדול של מבני מגורים ואזור פנאי ובילוי מרכזי. הפרויקט הוסיף לדובאי 520 קילומטר של חופי ים. בשלושת האיים יש מעל 100 מלונות יוקרה, וילות, בתי מגורים, דירות, מרינות, פארקי מים, קניונים, מתקני ספורט ומסעדות. שלושת האיים מכילים מעל מיליארד מטרים מעוקבים של חומרי מילוי, חול וסלעים, כולם מחציבה מקומית.

בניית ג'ומיירה פאלם החל ביוני 2001. כעבור זמן קצר הוכרז עלי ג'בל פאלם והחל טיוב הקרקע. דיירה פאלם, המתוכנן להיות בעל פני שטח של 46.35 קילומטרים רבועים, הוכרז לפיתוח באוקטובר 2004. הבנייה תוכננה במקור ל-10-15 שנים, אבל זה היה לפני השפעת המשבר הכלכלי הגדול ב-2008 שהיכה גם בדובאי.

חלק אחר של הפרויקט, שנעצר בשלב זה, הוא פרויקט בשם The World. העולם הוא אוסף איים מלאכותיים מול חופי דובאי. זהו מעין ארכיפלג מלאכותי של 300 איים שקווי המתאר הכלליים שלו מדמים את מפת העולם. האיים בעולם מסמלים מדינה או חלקי מדינה. בניית הפרויקט החלה בספטמבר 2003 והיא מתבססת על שימוש בסלעים וחול שנחפר מקרקעית הים ללא סיוע בטון. בשנת 2009 פורסם כי עבודות הבנייה בפרויקט הופסקו עקב השלכות המשבר הכלכלי העולמי. לא פורסם מתי ואם יתחדשו העבודות ונודע כי מספר איים ניזוקו כתוצאה מעצירת הפיתוח.



איור 9: איי הדקל, Palm Islands, דובאי קיים ומתוכנן
(מקור: <http://thebesttraveldestinations.com/page/13>)

איור 9: איי הדקל דיירה (Palm Deira)
(מקור: סופר)

פרק שני: טכנולוגיות ההקמה של איים מלאכותיים

מרבית האיים המלאכותיים בעולם הוקמו בשיטת חומרי המילוי, המבוססת על מילוי נפח האי בחומרי כרייה אשר מקורם בים או ביבשה. במידה וקיימת אפשרות לשימוש בטכנולוגיות אלטרנטיביות לזו המתבססת על חומרי מילוי הכרויים מן הטבע, תוך הקטנת כמויות חומרי המילוי הדרושים, יהיה ניתן להשיג שני יעדים:

1. הקטנת נזקי הכרייה והגריפה בעת הקמת האי (הן באתר ההקמה והן באתרי הכרייה ביבשה ובים) ובמהלך תפעולו.
2. פריצת המגבלה של קו "25 מ' עומק" ומעבר למרחב בנייה נרחב יותר. פריצת מגבלה זו תאפשר דילול הפיתוח, הקטנת חזית הפיתוח הנשקפת מן החוף, והרחקת תשתיות שאינן ידידותיות לסביבה לעומק הים.

בפרק זה אסקור באופן כללי את שיטות הקמת האיים: השיטה הקונבנציונלית, דהיינו מילוי שטח האי בעזרת חומרי מילוי כרויים ושיטות הקמה נוספות עם ההדגשים הרלבנטיים לכל שיטה. חלק מהשיטות הללו קיימות ושימויות וחלקן נמצא ברמה של ניסויים או פיתוח בלבד.

משטח על גבי חומרי מילוי

השיטה הראשונה הרווחת בעולם היא הקמת אי המבוסס על חומרי מילוי. בתחילה מקימים חגורה או טבעת תת-מימית מאלמנטים של בטון ואבנים עד מעל למפלס הים, חגורה זו מכונה קירות ים, אחר כך ממלאים אותה בחומרי מילוי בהתאם למצוי (איור 10). תפקידם של קירות הים להוות מעטפת חיצונית של האי מחד גיסא, ולהגן עליו מפני פעולות הים ובעיקר הגלים מאידך. לכן



איור 10: אוניית מחפר לכריית חומר מילוי בקרקעית הים

גובהם ומבנם יהיו תלויים בתנאים הקיצוניים ביותר הצפויים בים. בחופי תל אביב, למשל, גובה הגלים במוצע לאורך השנים הוא כ-3 עד 4 מטרים, אולם לפי הסטטיסטיקה אחת למאה שנה צפויים גלים של כ-10 מטרים, ולגובה זה נדרש להיערך בתכנון האי. עלות האיים הללו עולה שלא ביחס ישיר לעומק בו הם נבנים.

קאיסונים (Caissons)

קאיסונים הם אלמנטים טרומיים (איור 11) בעלי צורת קופסה מלבנית או עגולה במידות של עד עשרות מטרים לכל צלע עשויים מבטון מזוין שניתן לצקת אותם בחוף ולגרור אותם לאתר הבנייה, שם הם משוקעים. הקאיסונים יכולים לשמש כשובר גלים וכבסיס לעגינה ולמתקני נמל שונים. שיטה זו ותיקה ואף הרומאים יישמו אותה במים עמוקים.

בשיטה היפנית להקמת שוברי גלים במים עמוקים, הנקראת (Composite Structures), מתבצע שילוב של קאיסונים מבטון המונחים על גבי שובר גלים מטובע או על גבי סוללות מחומרי מילוי שונים. בעזרת שיטה זו ניתן לבנות בעומקי מים גדולים יותר. עיגון הקאיסונים לקרקעית הים או לשוברי הגלים המטובעים, וצורתו של הקאיסון נעשים בשיטות שונות (איור 12), בהתאם למצעים ולמשטר הגלים, חישובי מאמצים ומניעת כשלים, מניעת גריפה, דרגת דחיסות המצע עליו מונחים הקאיסונים וכיו"ב צריכים להתבצע בעת התכנון המפורט.

בעולם נצבר ניסיון רב בבניית איים באמצעות קאיסונים מתחילת המאה. קיימות בעולם שיטות בנייה חדשות עם קאיסון בעומק מוגבל שאינו דורש מילוי (איור 13), דבר שיכול להוות יתרון משמעותי בישראל, אשר לה מגבלה של חומרי מילוי זמינים בכמויות הנדרשות (על כך נדון בהמשך).

גם בישראל קיים ניסיון בשימוש בקאיסונים למבנים ימיים. לדוגמה, ממידע שהתקבל מחברת נמלי ישראל (חנ"י), בהקמת נמל היובל באשדוד נעשה שימוש בקאיסונים כחלק מבניית הרציפים.

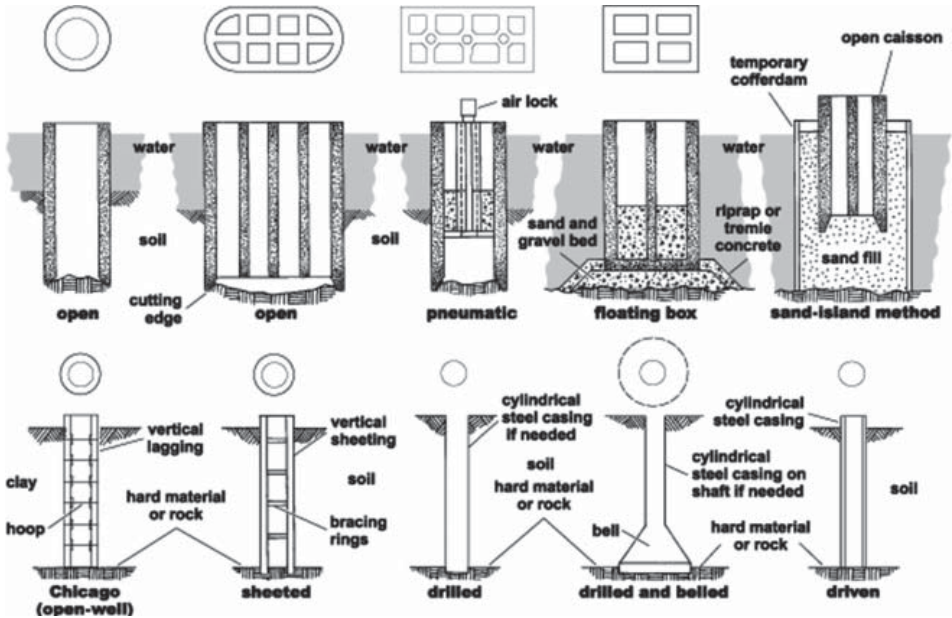


איור 11: קאיסונים מבטון מזוין, יצוקים ביבשה ומוסעים לאתר

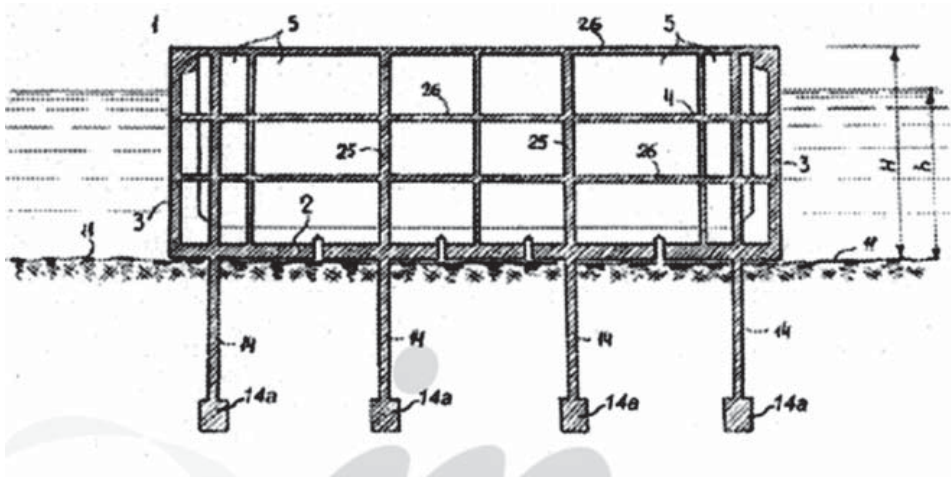
מידות הקאיסונים, אשר נבנו בסמוך למזח, הם 20x40 מ', הקאיסונים הושטו לאתר ההקמה, שם שוקעו ומולאו בחול. עומק המים במקום הוא 10-12 מ'.

איים צפים

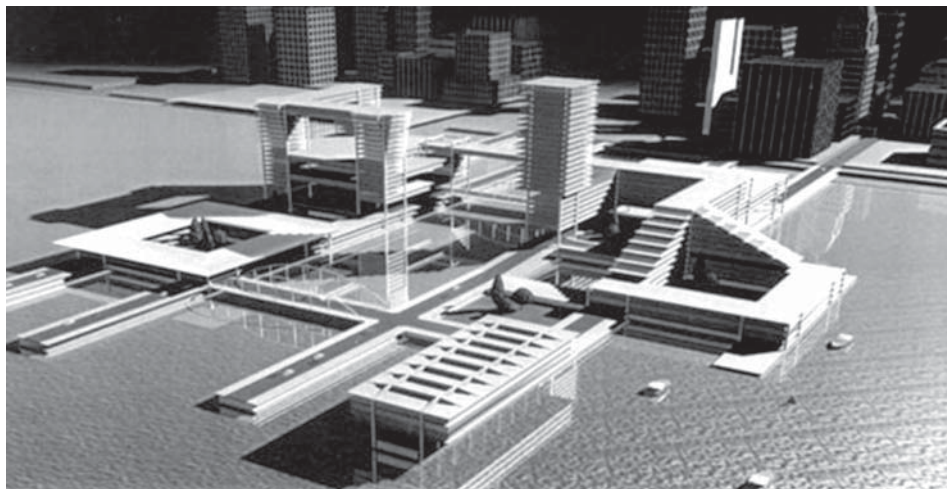
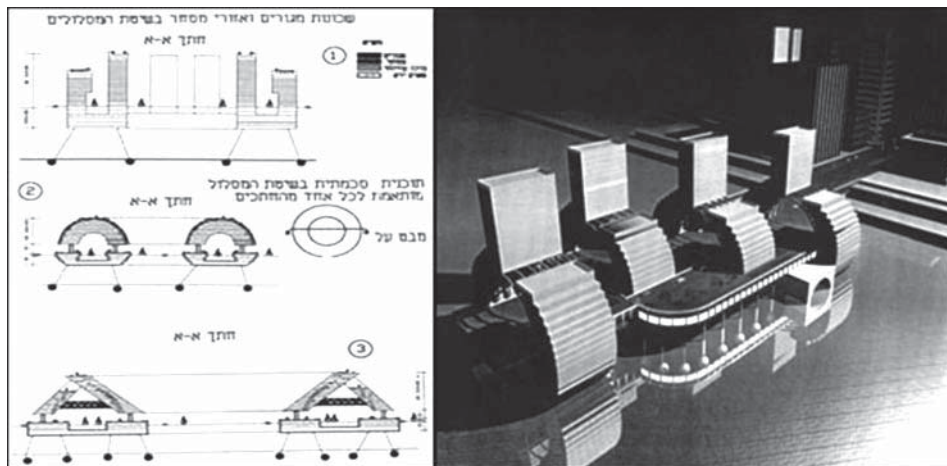
התכנון הרעיוני החדשני הוא פיתוח איים טיפוסיים צפים (אבי-טיפוס) המעוגנים בים באלמנטים מיוחדים (איורים 14, 15). איים אלו יהיו מושפעים מהסביבה הימית, מהנוף הימי ויתנו מבט אל תוך הים ואל החיים התת-ימיים. הבנייה היא בנייה מודולארית מתועשת, שניתן ליישמה במפעלים או במספנות ולהשיט את החלקים המתועשים לאתר הימי.



איור 12: מודלים של קאיסונים מדגמים שונים (מקור: Caisson, Access Science from McGraw Hill, Foundation)



איור 13: קאיסון שאינו דורש חומרי מילוי (מקור: Patent Application Publication, Dec. 31, 2009, Sheet 7 of 9, US 2009/0324341 A1)

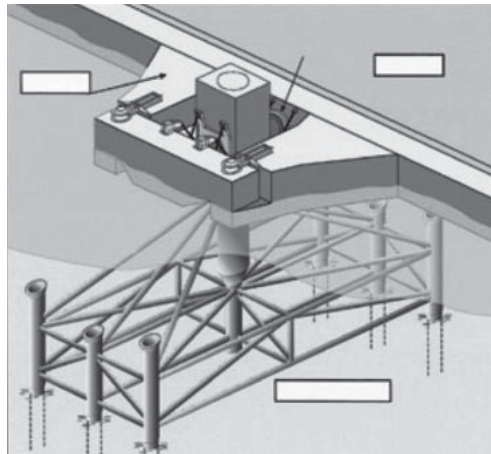
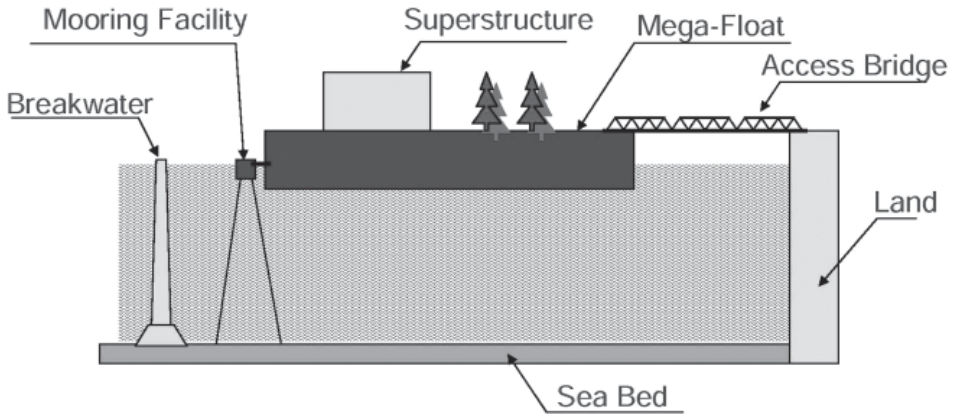


איור 14: מודלים של איים צפים וצורות עגינה (מקור: סגל 2003)

חומרי הבנייה הם פלדה, בטון או בטון דרוך המראה את היחס בהשקעות הכלכליות בחומרים אלה לעומת בניית איים מלאכותיים על מילוי. יש לציין שאיים מלאכותיים על מילוי אינם כלכליים בעומקים הגדולים מ-20 מ' וכמו כן, ההוצאות הכלכליות גדלות ככל שהעומק גדל.

היתרון בהקמת איים מלאכותיים צפים הינו ההוצאות הכלכליות שהן כמעט שוות לכל עומק ים. הכדאיות בהקמתם נובעת במיוחד מכך שהביסוס נעשה על קרקעות גרועות, וכאשר קיימת בעיה של חוסר בחומרי מילוי, ויש צורך להביא חומרי מילוי מארצות שכנות.

היתרון המרכזי בבניית איים מלאכותיים צפים, במיוחד בארצנו, הוא באי-פגיעה במשטר זרמי הים, הדגה וזרימת הסדימנטים לאורך חופי הים התיכון.



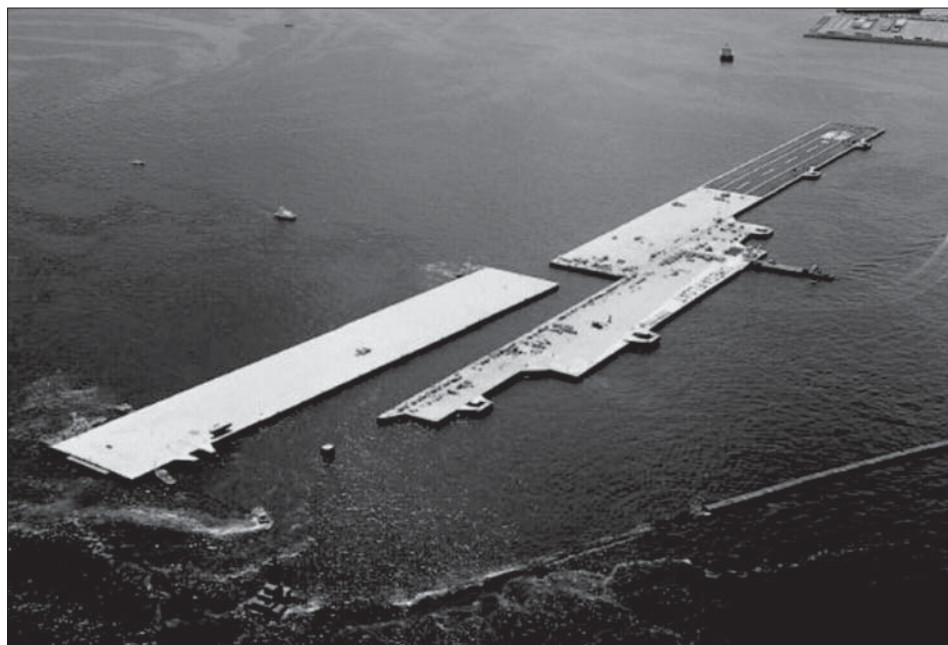
איור 15: מודל של אי צף ואלמנט העגינה (מקור: Alexey Andrianov, Hydroelastic Analysis of Very Large Floating Structures, doctoral dissertation, 9 September 2005)

הפלטפורמה הצפה מעוגנת לקרקעית על ידי קוביות בטון, המחוברות בעזרת כבלים לקרקעית. בעזרת העיגון ובאמצעים נוספים ניתן להתגבר על תנודות המתקן כתוצאה מהגלים. לשיטה זו מספר יתרונות: המתקן מודולרי וניתן בעתיד להרחיב את מתקן התשתית ואף להעבירו למיקום חדש. על ידי כך ניתן להקטין את הסיכון הסביבתי שעלול להיווצר ממתקן קבוע. למשטח צף קיימת גם עמידות טובה יותר בפני רעידות אדמה. הבדל נוסף טמון בשוני שבין שיטת חומרי המילוי הקונבנציונלית החוסמת לחלוטין את תנועת החולות באזור המתקן, לעומת שיטת האי הצף שמאפשר מעבר חלקי.

שיטה נוספת בתחום האיים הצפים היא שיטה הנקראת Mega-Float (הצף הגדול), אי מלאכותי גדול מאוד שצף בים. הטכנולוגיה של פיתוח, בניית והרכבת Mega-Float פותחה על ידי איגוד

טכנולוגי של 17 חברות מובילות ביפן, מתחום הספנות והפלדה (Technological Research Association of Mega-Float, TRAM) והוא בוצע בשנים 1995–2000 (Hirosihi 2002).

במרץ 2001 נבנה מודל של שדה תעופה בשיטה זו באורך של 1,000 מ' (איור 16), אשר הוכיח את היתכנות השיטה. יתדות פלדה הנעוצות בקרקעית הים מעגנות את המשטח אל הקרקעית. סה"כ משקל הגוף הצף הוא כ-40,000 טון. הקמתו של שדה התעופה הצף (Yokosuka Runway) למטוסים קלים עלתה כ-149 מליון דולר וההערכה היא שלהקמת שדה תעופה בינלאומי על משטח צף נדרשים כ-9.6 מיליארד דולר (האי ושדה התעופה עצמו) והוצאות תחזוקה גבוהות.

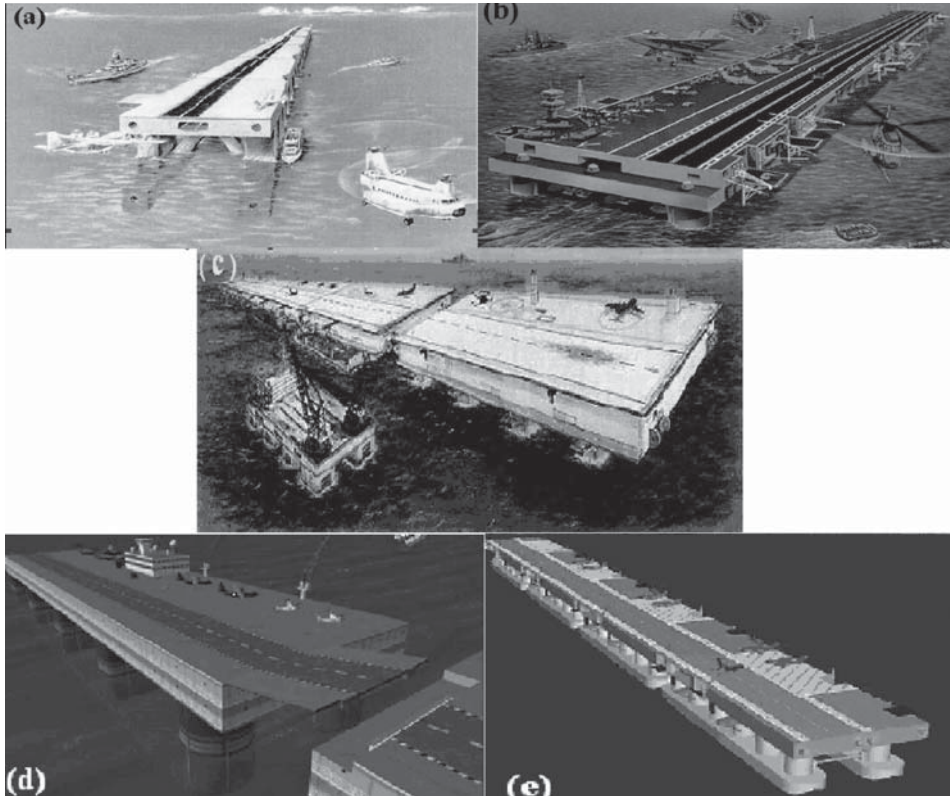


איור 16: שדה תעופה בשיטת ה-Mega-Float, מפרץ טוקיו יפן (מקור: Hirosihi 2002)

במהלך הניסוי נבחנו מספר נושאים. אחד מהם הוא הנושא הסביבתי שבדק את איכות המים סביב ומתחת למשטח הצף, בית הגידול הימי במים ועל הקרקעית, תוך השוואת הנתונים לאלה שהיו לפני שהוקם המשטח. כמו כן, נבחן הקשר בין רעש המטוסים והדגה באזור.

נושאים נוספים שנבחנו הם: חוזק המשטח, תנודות עקב תנועת הגלים, הגאות והשפל, השפעת המבנה המתכתי על מצפנים ומכשור אלקטרוני, השפעת תנודות הגוף על אמצעי הכוונה, ניווט, תאורה ומיקום ועוד.

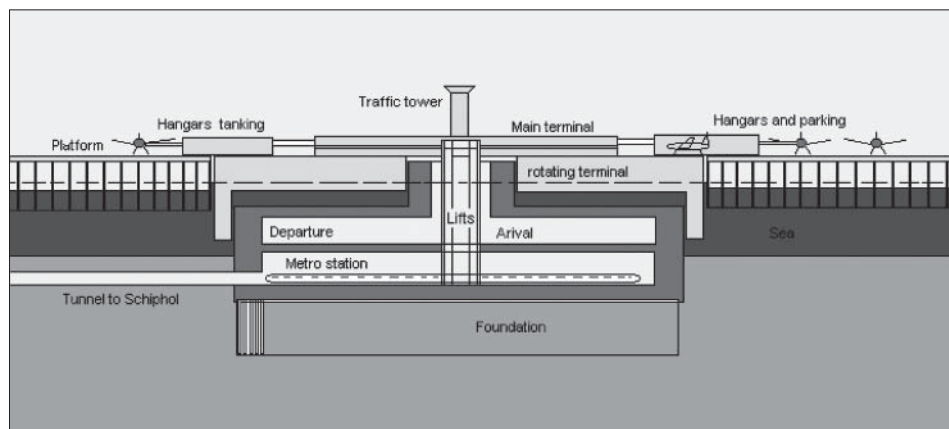
יצוין כי מסקנות הניסוי חיוביות ולמרות שטרם הוקם דגם בקנה מידה גדול יותר ובים פתוח, הרי שבדיקות בעזרת סימולציות (איור 17) של שדה תעופה עם מסלול באורך 4,000 מ' הראו כי קיימת היתכנות טכנולוגית ויישומית לכך.



איור 17: ניסויים וחישובים להקמת שדה תעופה על פלטפורמה צפה (מקור: Hiroshi 2002)

שדה תעופה צף וסובב - RFA (Rotating Floating Airport)

צוות משותף למספר חברות בינלאומיות עוסק בפיתוח שיטה להקמת שדה תעופה (איור 18) המשלב בסיס קבוע ומעוגן לקרקעית הים בקוטר של כ-250 מ', שבו בנוי טרמינל הנוסעים ומסלול המראה/נחיתה צף, המאפשר שינוי זווית המסלול בהתאם לכיווני רוח שונים, דבר המשפר את יעילות השדה. חיבור השדה אל החוף מתבצע בעזרת מנהרה המובילה את התנועה הרכבתית אל המבנה המרכזי הקבוע. בשיטה זו ניתן להפחית משמעותית את שטח הפנים של האי ואת חומרי המילוי הנדרשים ולשפר את יעילות השדה עבור תנאי מזג אויר שונים. שיטה זו נמצאת בפיתוח וטרם נוסתה.



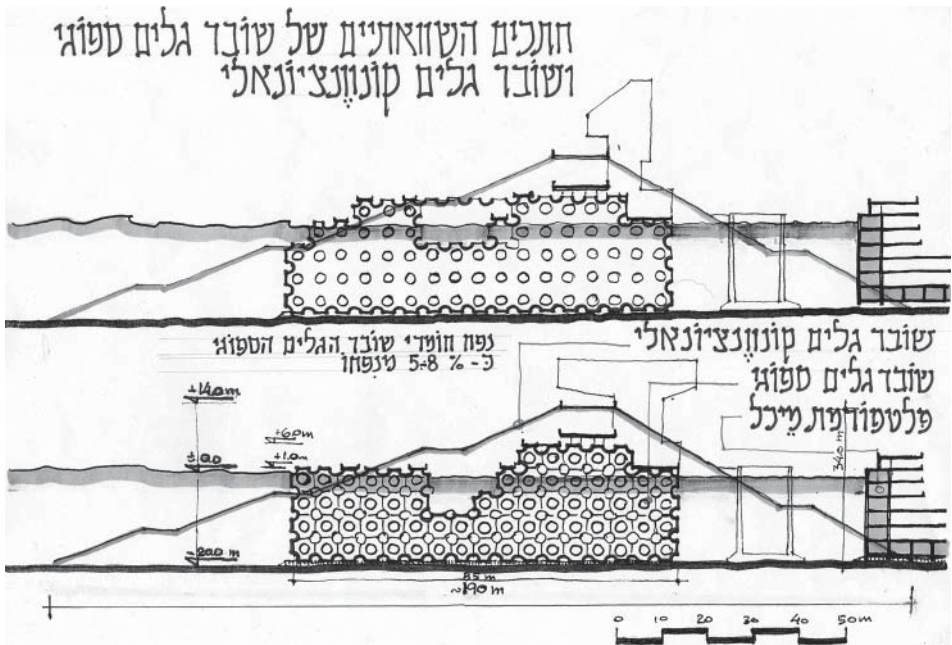
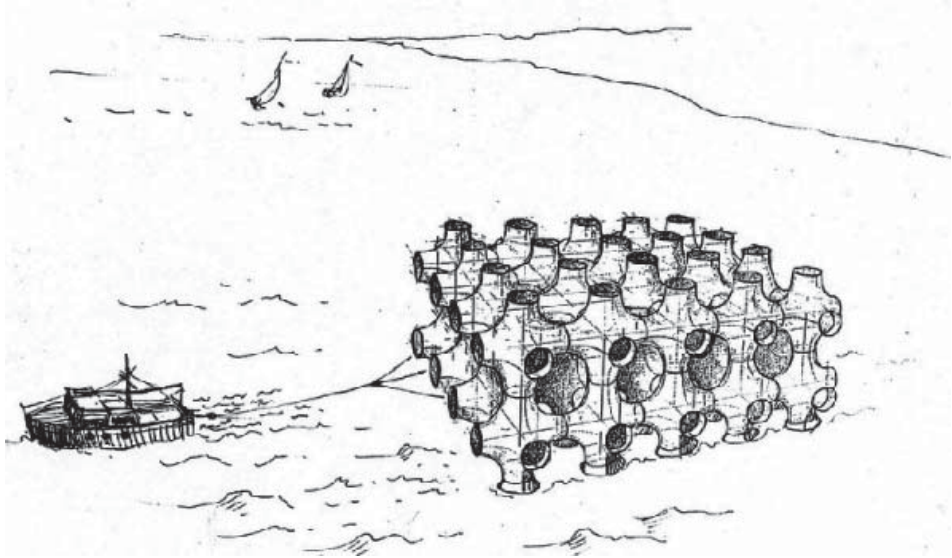
איור 18: סכימה של שיטת RFA (מקור: Van den Noord Innovations, Rotating Floating Airport, B.V., 2006)

שיטת בורט

פרופ' מיכאל בורט, אמריטוס של הטכניון, שימש שמונה שנים דיקן הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים. מזה שנים רבות הוא עוסק ברעיון של פיתוח אורבני בסביבה הימית (עד לעומק של 20-30 מ') באמצעות סדרה של איים מלאכותיים (בורט 2010). במהלך שני העשורים האחרונים פיתח בורט (1997), מספר רעיונות לפיתוח ימי עוקף חומרי מילוי, שהיא אחת הבעיות המרכזיות לישראל בבואה להקים פרויקט איים מלאכותיים.

הראשון שבהם הוא שוברי גלים ספוגיים (Permeable sponge breakwaters) (איור 19, 20). אלה הן קליפות מחזוריות וטרומיות של בטון מזוין, המרסנות את אנרגיית הגלים על ידי בליעתה וספיגתה. נפח חומרי הבטון לפי פיתרון זה הוא כ-5 עד 7 אחוזים בלבד מנפח שובר הגלים. שובר הגלים בנוי מיחידות מודולריות היוצרות יחד תבנית של "ספוג", דהיינו, יחד עם מי הים המשמשים כחומר מילוי, נוצרת מסת התנגדות של כ-1,700 טון לכל מטר רץ של המבנה.

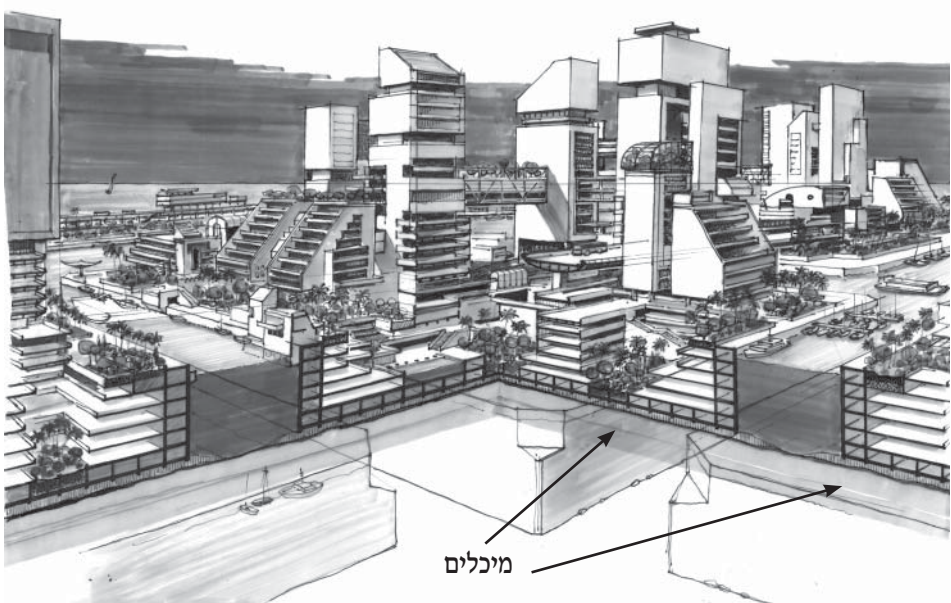
פיתוח נוסף של בורט הוא פלטפורמות מיכל (Container platforms), אלה הן "קערות" טרומיות דמויות מגירה עשויות מבטון מזוין, עם איטום מראש בחלקיהן התחתונים, ומבחוץ עד הגובה המתאים, כדי להקנות להן כושר ציפה. היחידה האופרטיבית עשויה להגיע לממדים של 60-80 מ' רוחב, 120 מ' אורך, 25 מ' גובה, והנפח הכולל של יחידה אופרטיבית כזו 180,000 מ"ק. משקל מבנה קליפת הבטון ביחידה כזו יכול להגיע ל-25,000-30,000 טון. "בלוק" זה, באורך של 120 מ', ממולא במי ים, מהווה סכר של כ-200,000 טון, או כ-1,700 טון למטר רץ.



איור 19: שוברי גלים ספוגיים - Permeable sponge breakwaters (מקור: <http://www.professormichaelburt.com>)



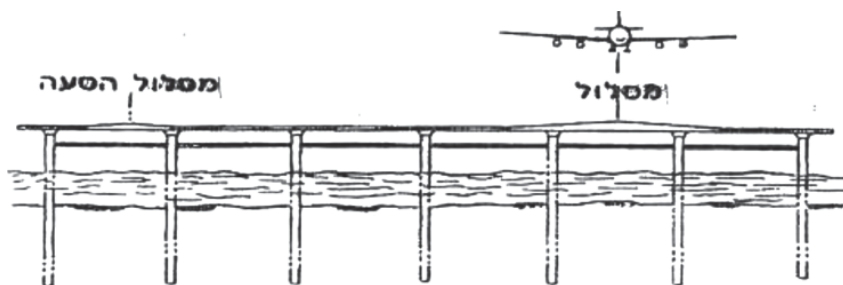
איור 20: ניסויי תנועת גלים על משטחים ספוגיים (מקור: <http://www.professormichaelburt.com>)



איור 21: פלטפורמות המיכל על פי שיטת פרופ' בורט (מקור: <http://www.professormichaelburt.com>)

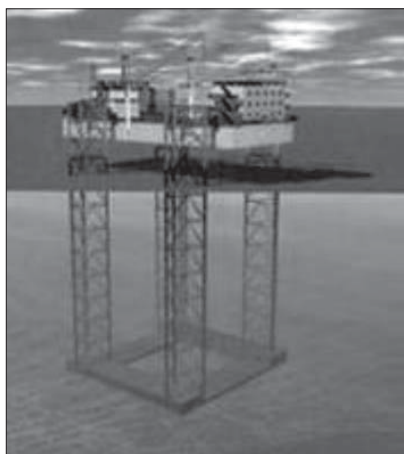
כלונסאות

בשיטה זו חוסכים בחומרי מילוי בכך שביסוס האי או המשטח להקמת מתקן התשתית נעשה על יסודות כלונסאות. אם כי שטח הכלונסאות חוסם כ-40% מהשטח הפתוח, על פי רוזן (2000), חסימת הסדימנטים פחותה מעט בהשוואה לשיטת המילוי המלא ודומה לאי צף. למרות זאת, גם כאן מתקיימת חסימה בתנועת החולות האורכית, זאת מכיוון שהאזור השקט יחסית מגלי ים שמאחורי האי יגרום להתפתחות זרמים בקרבת קו החוף אל תוך האזור המוצל, אשר יסיעו חול וישקיעו אותו שם. כך תיחסם עיקר הסעת החול, המתרחשת בתוך רצועת המישברים וככל הנראה תיווצר לשון יבשה בין החוף והמשטח הצף. בעיה נוספת העלולה להיווצר היא ארוזיה בסביבת העמודים הדורשת פעולות תחזוקה בתפעול (איור 22).



איור 22: שיטת ביסוס על כלונסאות (מקור: מסמך למדיניות איים מלאכותיים 1997)

עיקרון הכלונסאות יושם בשדה התעופה לה-גרדיה בניו-יורק, כאשר האריכו את המסלול לתוך הים. שימוש בכלונסאות קיים בפרויקטים רבים בעולם, החל מאסדות קידוח (איור 23), גשרים המשמשים כמקשרים (איור 24), ועד לחוות אנרגיית רוח בים הצפוני, אשר מספקות כ-2 מגה-וואט לטורבינה, (כאשר קיימות תחנות המספקות סה"כ עד כ-140 מגה-וואט) (איור 25).

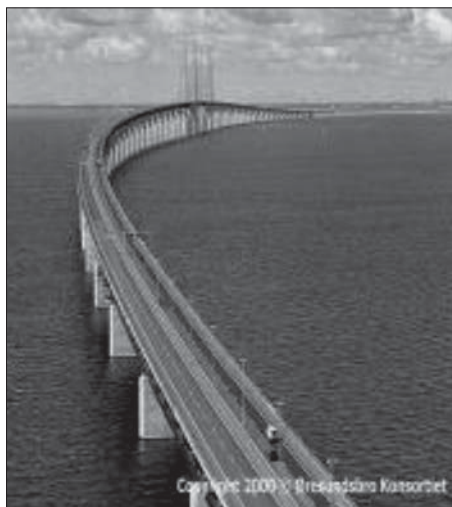


איור 23: אסדת קידוח על כלונסאות (מקור: מסמך למדיניות איים מלאכותיים, 1997)

יתרון השימוש בכלונסאות הוא מעבר חלקי של סדימנטים, אך בכך גם חסרוננו. עם הזמן תיווצר ככל הנראה חסימה חלקית, שיתכן שתהפוך למלאה ותדרוש עבודות תחזוקה יקרות. נראה גם כי עלות ההקמה עולה על עלות הקמה בחומרי מילוי.



איור 25: טורבינות רוח על כלונסאות



איור 24: גשר על כלונסאות

פרק שלישי: החוף בישראל – קשיים, מגבלות והזדמנויות

בדיקת פוטנציאל הקמתו של אי מלאכותי מול חופי ישראל מחייבת בדיקה יסודית של המאפיינים השונים של הים: קו החוף וקרקעית הים, מאזן הסדימנטים לאורך החוף, עוצמתם וגובהם של הגלים וההשפעה הסביבתית הצפויה של האי. כמו כן יש לבחון את סוגי המתקנים הנדרשים להקמה על איים מלאכותיים, ובעקבות כך יש לבחון היבטים נוספים, כמו מיקום האי מול החוף (מרחק מקו החוף), וכן מיקום האי לאורך החוף, סוג ואופי השימוש מכתיבים את המיקום הכללי הנדרש לאורך החוף.

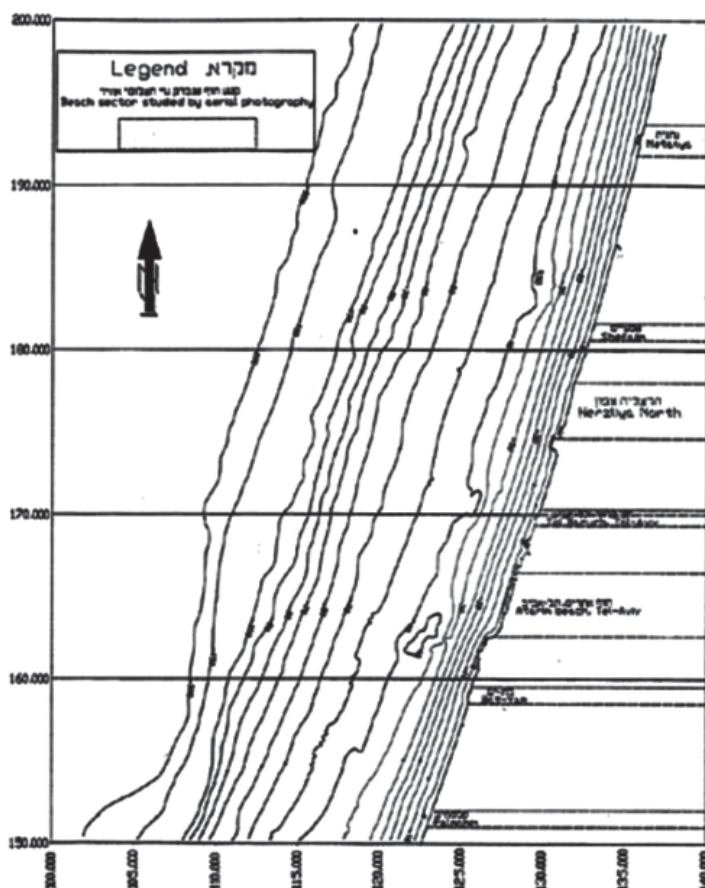
בתיאור המרחב הרלבנטי, אחת האבחנות החשובות היא הבנת ההבדל בין הממד האורכי, דהיינו ציר בכיוון כללי צפון-דרום, אשר מתייחס בעיקר לשוני בין מיקומים אפשריים מול שימושים שונים הנמצאים לאורך החוף ובין הממד הרוחבי, דהיינו ציר בכיוון כללי מזרח-מערב, אשר מתייחס בעיקר לשוני בין מיקומים אפשריים ובין עומקי מים שונים, ערכי טבע, נוף ומורשת הנמצאים במרחב הימי.

פרויקט ספציפי להקמת מבנה ימי או הקמת אי מלאכותי דורש מיפוי בתימטרי (מיפוי הקרקעית) מדויק ועדכני שמאפשר תכנון מפורט לפיו. ככל שידוע לי, לא קיים מיפוי מפורט כזה במימי החופים, וזאת משום עלותו הרבה, למעט הקטע שבין פלמחים ובית ינאי (איור 26), אשר בו נערך מיפוי בשנת 1997 לצורך עריכת המודלים של סקר ההיתכנות לאיים מלאכותיים על ידי הוועדה המשותפת להולנד ולישראל (רוזן 2000). בהתאם, בקטע זה הוכנו נתונים בתימטריים מקו גובה +3 ועד קו עומק 200- מטר. מיפויים נוספים הוכנו, הן עבור תכנון צינור הגז הטבעי בים והן על ידי המכון הגאולוגי.

מיפוי מפורט נערך בדרך כלל לקראת תכנון מבנה ימי והוא נעשה באזור התכנית הספציפית. בעבודה זו אנסה לאפיין אותו בצורה כללית לצורך הבנת הסביבה המיועדת ולצורך קבלת החלטות עקרוניות על מיקום אפשרי לאיים.

על פי משרד הפנים, מנהל התכנון, הוועדה למימי חופין (1999), ניתן לחלק את מדף החוף לשלושה אזורים עיקריים:

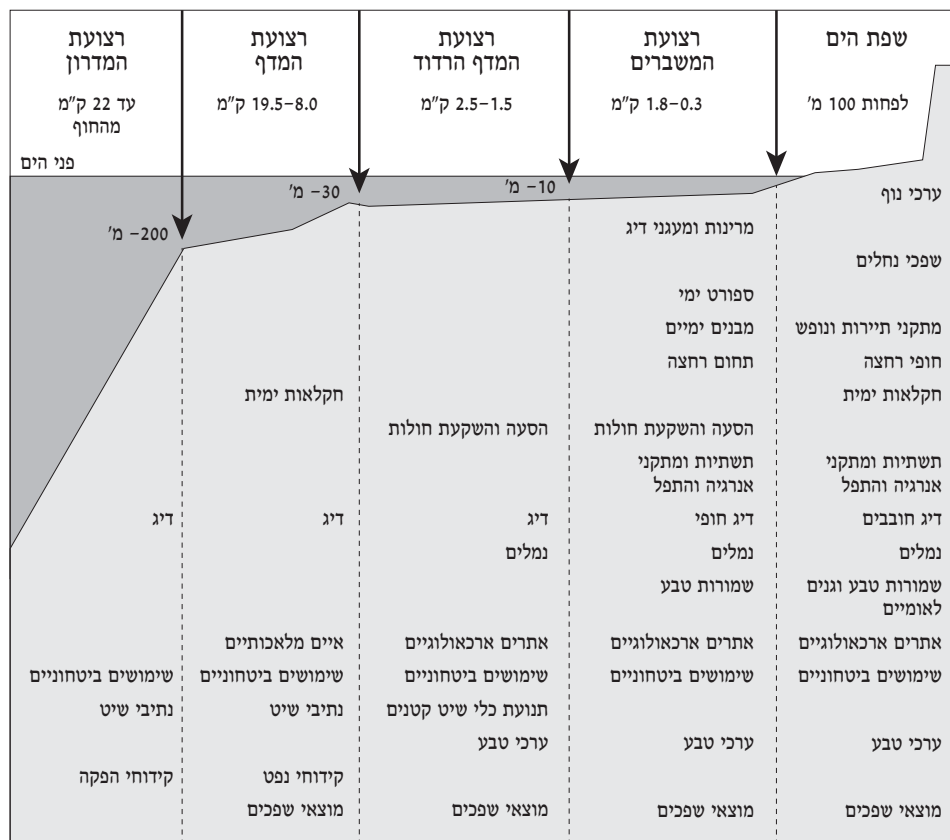
1. הרצועה הקרובה לחוף (מקו החוף עד לעומק מים 25-30 מטר), שבה שיפוע הקרקעית הוא בין 0.5° – 1° .
2. רצועת הביניים (עומק 30-80 מטר), שבה השיפוע קטן מאוד.
3. רצועת קצה המדף (עומק 80-200 מטר), שבה השיפוע גדל מ- 20° בדרום עד 80° בצפון המדינה.



איור 26: מפה בתיםטרית - מיפוי העומקים פלמחים - בית ינאי (מקור: דוח בדיקת קדם היתכנות, 2000)

במדף היבשת הפנימי (עד עומק 30-40 מטר) נמצאים שלושה רכסי כורכר עיקריים שכיוונם מקביל לחוף, בדומה לרכסים הנמצאים ביבשה. בדרום המדינה ניתן למצוא ארבעה רכסי כורכר. רכסי הכורכר בנויים אבן חול קוורצית מלוכדת בקרבונט. למרות הדעה הרווחת כי היווצרות רכסי הכורכר נעשתה עם השינויים במפלס מי הים ומייצגים מפלסי ים שונים, ישנן גם דעות הגורסות כי רכסי הכורכר מייצגים פעילות טקטונית. בשל העובדה שקיים קושי טכני וכלכלי להקים מבנים רחבים בקרקע בעלת שיפוע ועומק גדולים, הרי ששני האזורים הראשונים שלעיל מהווים פוטנציאל להקמת גופים ימיים. כמו כן, בהתייחס לכך שעיקר הסעת החולות נעשית ברצועה הקרובה לחוף, הרי שרצועת הביניים שבה השיפוע הוא קטן מאוד, היא המתאימה יותר לתכנון מבנים אלה.

מסמך המדיניות למימי חופין ביצע גם מיון שימושים ותהליכים על פי חלוקה לרצועות אורך במימי החופין, להלן סכימת המיון (איור 27).



איור 27: סכימת חלוקה לרצועות אורך מימי החופין (מקור: על פי מסמך מדיניות למימי חופין, 1999)

שיקולים ומגבלות פיסיים

בעת הקמת מבנים ימיים לתשתיות יש צורך לסקור בצורה מפורטת את שימושי הקרקע ביבשה. זאת על מנת למקם באזור מתאים את התשתית מבחינת התאמה אורבנית, ויזואלית, חיבור לתשתיות ביבשה וכדומה. סקירת שימושי הקרקע בים חיונית לצורך איתור מרחב ימי פנוי לבנייה שאין סביבו מגבלות תנועה או מעבר שעלול להפגע תפקודית.

להלן חלוקה עקרונית של השימושים לאורך רצועת החוף (מתוך מסמך המדיניות למימי חופין, 1999):

א. ראש הנקרה-צפון עכו: 17.5 ק"מ אורך חוף. קטע זה כולל חלק נכבד של חוף טבעי פתוח מצפון לנהריה, מצפון לעכו ובפאתי יישובים כפריים. רצועת חוף עירוני קיימת לאורך העיר נהריה.

- ב. צפון עכו-חוף שקמונה: 25.2 ק"מ אורך חוף. קטע זה מאופיין בשטחים עירוניים רבים, שטחים סגורים של מתקנים ביטחוניים ותשתיות ושטח נמל חיפה. שמורת טבע שפך הנעמן נמצאת מדרום לעכו לאורך כ-2 ק"מ רצועת חוף.
- ג. חיפה (חוף שקמונה)-נוף ים (צפון הרצליה): כ-74 ק"מ אורך חוף. בקטע זה שימושי הקרקע העיקריים הם: חופים טבעיים פתוחים - כ-40 ק"מ, שמורות טבע וגנים לאומיים - כ-14 ק"מ, חופים עירוניים - כ-15 ק"מ, חוף סגור בעתלית ותחנת הכוח בחדרה - כ-4.5 ק"מ. לאורך החוף קיימים חופים להתיישבות כפרית ועירונית.
- ד. נוף ים-בת ים: כ-23 ק"מ אורך חוף. גוש שימושים זה כולל את גוש דן והליבה המאוכלסת של מישור החוף. מחצית אורך החוף מהווה חזית לשטח עירוני וכוללת מספר מעגנות. אורך החוף הנותר כולל גם שטחים סגורים וחופי רחצה מוסדרים.
- ה. בת-ים-גבול רצועת עזה: כ-49 ק"מ אורך חוף. למעט נמל אשדוד, נמל אשקלון, קצא"א ומספר חופים עירוניים מול ערים אלו מתאפיין חלקו הדרומי של מישור החוף בשטחים פתוחים בעלי ערכיות טבעית ושטחים סגורים (בעיקר לצורכי צבא).

שימושי קרקע בים

יש מספר מאפיינים של שימושי קרקע הקיימים בתחום המים עד עומק 20-25 מטר (תחום האיים המלאכותיים בשיטה הקונבנציונלית). בין נהריה לחיפה קיימים שטחים סגורים מול האזור שמצפון לבוסתן הגליל, מול רפא"ל ומול חיפה. נתיב שיט קיים מול אזור נמל חיפה; בין חיפה לחדרה קיים אזור סגור מול עתלית; בין חדרה להרצליה מרבית המים פתוחים, למעט אזור תחנת הכוח בחדרה, בו נמצא גבול הכרזת נמל ושונית מלאכותית, שמורת נחל פולג ושטח סגור מצומצם באזור נוף-ים; בהרצליה קיים גבול הכרזת נמל באזור המרינה; בין הרצליה לבת-ים חלק מתחום המים פתוח וחלק מוכרז כנמל ת"א-יפו עד עומק של כ-20 מטר; מול חוף תל-ברוך, בעומקי מים של מעל ל-30 מטר, ככל הנראה קיימים מצבורי תחמושות אשר סולקה לים בעבר; בין בת-ים לאשדוד מרבית תחום המים הטריטוריאליים מוגבל על ידי שטחים סגורים ועל ידי גבול הכרזת נמל אשדוד; בין אשדוד לרצועת עזה קיימים נתיבי שיט מול אשדוד ואשקלון ושטחים סגורים, בעיקר באזור שמצפון לרצועת עזה.

ניתן להבחין כי בעוד ששימושי הקרקע בים הם מעטים יחסית ונובעים בעיקר מהגבלות ביטחוניות או שטחים המיועדים לנמלים ונתיבי שיט, הרי ששימושי הקרקע על החוף הם בעלי משמעות לצורך מיקום האי בתכנון הגיוני מבחינות אורבניות וסביבתיות. מיקום האי לאורך קו החוף תלוי באופי השימוש. אזורים בים, בהם קיימים שימושים כגון נתיבי שיט ושטחים סגורים, מהווים חסם

בפני פיתוח איים מלאכותיים באזורים אלה. יחד עם זאת, ייתכן כי בשל שינוי גאוגרפי בטוחים סגורים או תיאום נתיבי שיט, ניתן יהיה למקם איים בחלק מאזורים אלו, ולכן הגבלות אלה אינן מוחלטות.

השפעות רעידות אדמה

במהלך התכנון המפורט לבניית איים מלאכותיים חייבים לנקוט באמצעים טכניים למזעור נזקים אפשריים עקב רעידות אדמה. קביעת האמצעים הנדרשים צריכה להיעשות בנפרד לכל אתר בהתאם לתנאים הספציפיים שלו, וזאת לאחר ביצוע קידוחים עמוקים לבדיקת הרכב הקרקע. ליציבות הסייסמית והגאוטכנית של קרקעית הים באזור הסמוך לקו החוף יש משמעויות חשובות בקביעת טכנולוגיית בניית האי ועלותו. לאזור הים מול חופי תל אביב יציבות סייסמית אופיינית למזרח אגן הים התיכון בו הפעילות הסייסמית נורמלית.

באזור תל אביב יש לקחת בחשבון אפשרויות של זעזועים סייסמיים שעוצמתם אינה צפויה להיות הרסנית, כפי שמלמד הניסיון עד עתה ועל בסיס המבנה הגאולוגי של האזור. באופן כללי ניתן לומר שאזור החוף הנמצא צפונית למבנה הכרמל הוא הפעיל יותר מבחינה סייסמית. מפרץ חיפה ומבנה הכרמל הם חלק מאזור "יגור-תרצה" הממשיך עד לבקע ים המלח, ההערכות הן שבאזור סייסימי זה יש פוטנציאל לרעידת אדמה בעוצמה של 6.5 בסולם ריכטר. היחידה לסייסמולוגיה במכון הגיאופיסי חילקה את המדינה לאזורי סיכון על סמך מקדמי עוצמה סייסמית (α).

מישור החוף מחולק לשלוש קטגוריות:

1. ראש הנקרה-נווה ים: האזור עם הסיכון הגבוה ביותר לאורך החוף, $\alpha=1$.
2. נווה ים-גבעת אולגה: אזור עם סיכון קטן יותר, $\alpha=0.75$.
3. גבעת אולגה-הגבול הדרומי האזור עם הסיכון הקטן ביותר, $\alpha=0.5$.

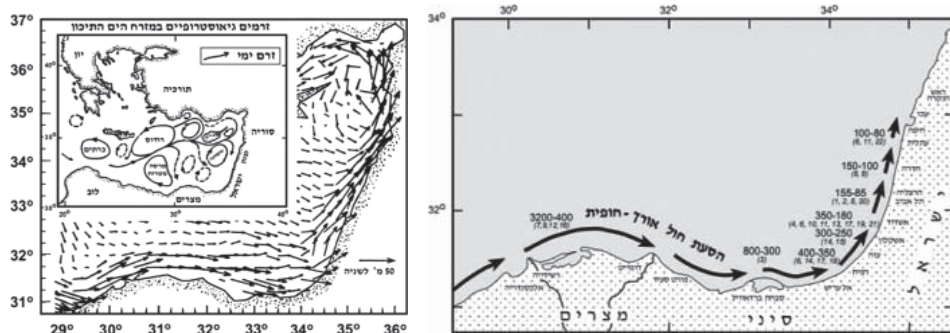
על פי מחקר IPRG משנת 1966 (משרד הפנים, מנהל התכנון, הוועדה למימי חופין 1999), התרחשו בין השנים 1949-1995 במישור החוף ובים כ-92 רעידות אדמה ש-28 מתוכן היו בים. הרוב הגדול של הרעידות היו בעוצמות 2-3 בסולם ריכטר. רעידת האדמה החזקה ביותר התרחשה בים (עד 12 מייל מהחוף) בשנת 1980 בעוצמה של 4.1 בסולם ריכטר. ביבשה עיקר הרעידות היו בין הכרמל לעכו, בעיקר בקרבת שבר יגור. בים עיקר הרעידות החזקות (3-5 בסולם ריכטר) התרחשו מחוץ למדף באזור קניון אכזיב, קניון פלמחים ובאזור הנמצא מערבית לנתניה.

ישראל מצויה באזור סייסימי, שהצפי לגבי רעידות אדמה בו גבוה. בשנת 1996 התרחשה רעידה בעוצמה של 6.2 בסולם ריכטר, אשר מוקדה היה סמוך לדרום קפריסין. רוב נזקי רעידות האדמה

מתרחשים על תשתיות לא מהודקות של טיץ וחרסית, שחדירותם נמוכה ותכולת המים שלהן גבוהה וכן בחול דק המועד להתנזלות.

היבטים סדימנטולוגיים

התחום בגאולוגיה העוסק בעקרונות ובתהליכים של יצירת סלעי המשקע נקרא סדימנטולוגיה, זהו אחד הנושאים החשובים והקריטיים ביותר בדיון על הקמת איים מלאכותיים מול חופי ישראל. לאורך עשרות השנים האחרונות השתרשה ההבנה כי מנגנון הסעת החולות (איור 28), הוא זה הבונה את חופי ארצנו, מדרום הארץ עד לאזור מפרץ חיפה.



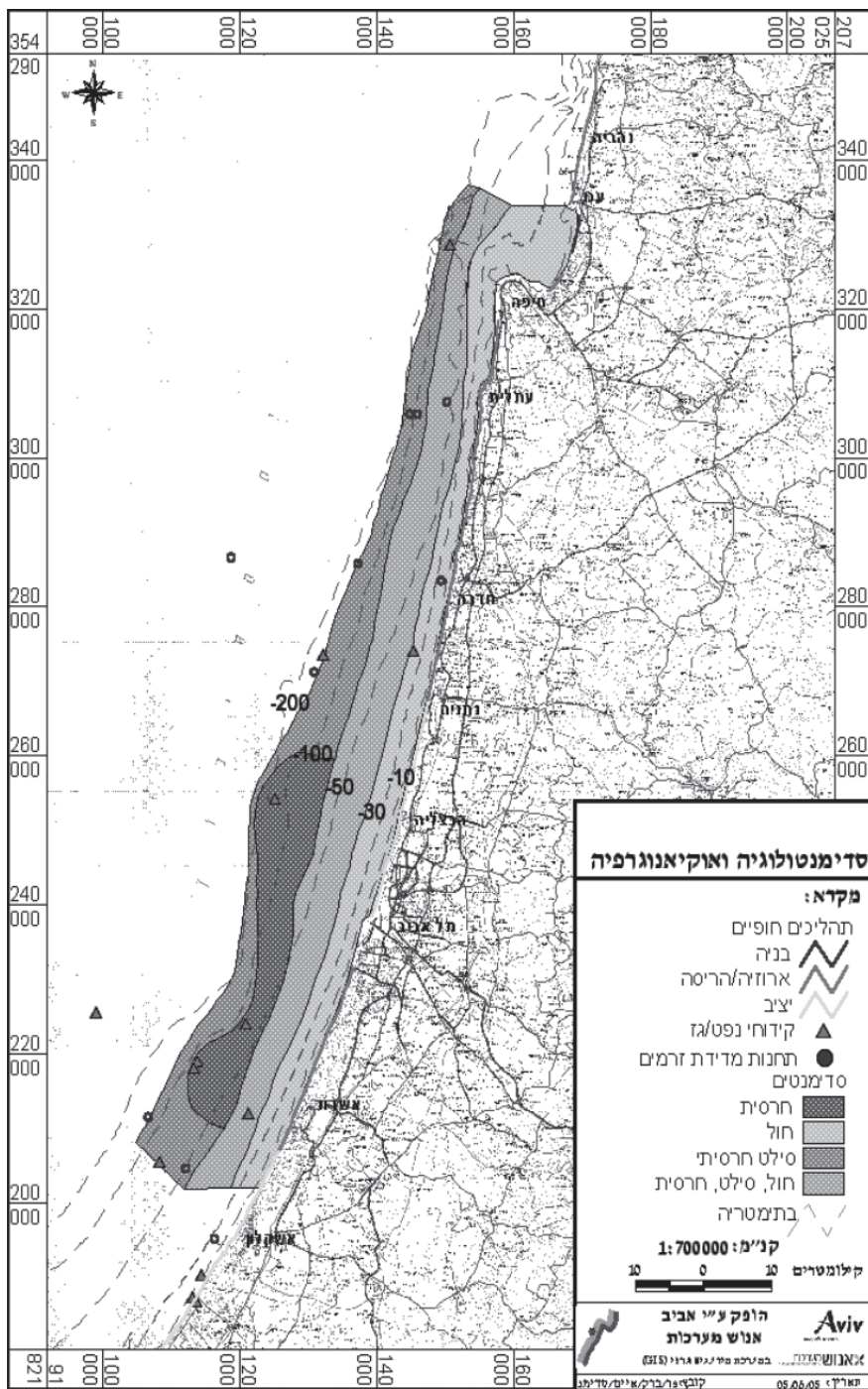
איור 28: תהליך הסעת החול מול חופי ישראל (מקור: גיאולוגיה ים תיכון, אתר - 'רב היבטים על ארץ ישראל', <http://mauricioeretzisrael.wordpress.com>)

עיקר החול לאורך חופי הים התיכון של ישראל מקורו בנהר הנילוס, המספק את החול למערכת החופית שלנו. בתנאים טבעיים, בטרם הקמתו של הסכר באסואן, היה הנילוס מביא כמויות עתק של סדימנט בעיקר מרמות אתיופיה. בין 5%-10% מסדימנט זה היה חול שבחלקו היה שוקע לאורך חופי הדלתה, ומשם נודד מזרחה, בעוד חלקו האחר, העודף, מוסע ושוקע במדף היבשת הרדוד. החול מוסע למרחק של כ-650 ק"מ, ממזרח לאלכסנדריה עד לראש עכו. במשך אלפי השנים האחרונות נאגרו בדלתה התת-ימית כמויות חול נכבדות המהוות זרובה חשובה ומאגר רב-כמותי להמשך תהליכי ההסעה של החול לעבר חופי סיני וישראל.

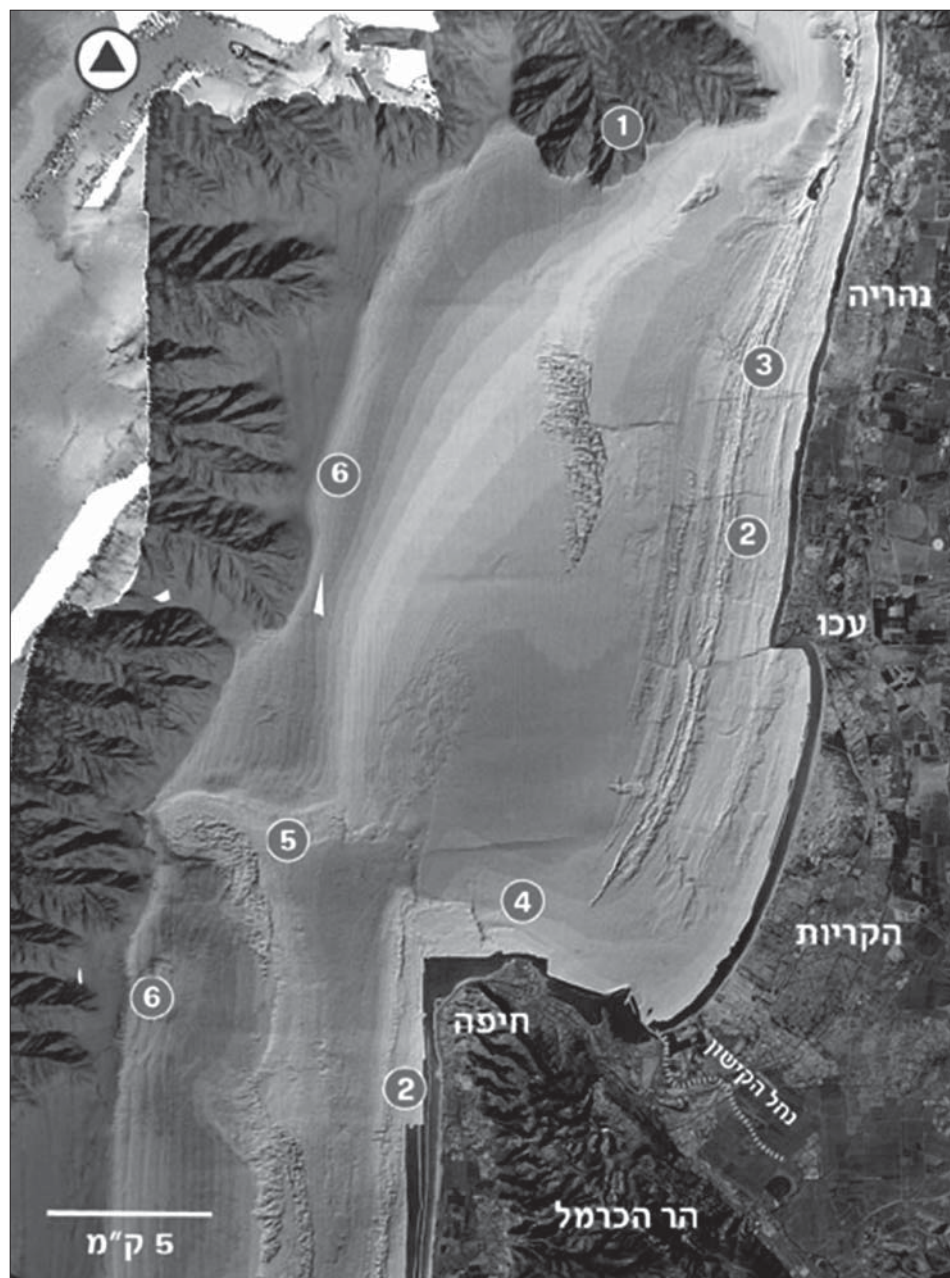
הגורם הטבעי העיקרי המשפיע על הסעת החול הם הזרמים והגלים. כיוונם ועוצמתם של הגלים קובעים את מרכיב הזרם המסיע את החול. ככל שזווית הפגיעה של חזית הגל בחוף חדה יותר, עוצמת ההסעה גבוהה יותר, וככל שהיא קרובה לכיוון ניצב לקו החוף, עוצמת הנדידה פוחתת.

במחקרם של גולדשמיט וגוליק משנת 1980 (משרד הפנים, מנהל התכנון, הועדה למימי חופין (1999) עולה כי בתוצאות מודל שנעשה מוגדרים ארבעה אזורי תנועה חשובים:

1. האזור שבין אל עריש לרפיח, בו ההסעה תהיה לכיוון צפון מזרח.
 2. מרפיח לראש הכרמל ההסעה יכולה להשתנות מצפון לדרום כתלות בכיוון הגלים. באזור זה קיימות נקודות התכנסות (Nodal points) של סדימנטים מדרום ומצפון, למשל ברפיח ובנתניה. ניתן לחלק אזור זה לשני מקטעים עיקריים: רפיח עד תל-אביב, שבו סך כל ההובלה היא לצפון, ואילו באזור הצפוני, מתל-אביב לראש הכרמל סך כל ההובלה היא כמעט אפסית ואולי אפילו מכוונת לדרום.
 3. האזור השלישי הוא מפרץ חיפה, שבו עבור רוב כיווני הגלים האנרגיה היא נמוכה עקב רפרקציה חזקה. אזור זה מהווה מלכודת סדימנטים.
 4. האזור הרביעי ממוקם בין עכו לראש הנקרה, ובו יש רפרקציה חזקה וכיווני הסעה משתנים.
- על פי ממצאי משרד התשתיות הלאומיות (2000), ההסעה נטו לאורך החוף באזור תל ברוך מוערכת בין 50,000–150,000 מטר מעוקב בשנה, וככל שמצפינים הכמות יורדת. על פי אותה ועדה ככל שהאי המלאכותי רחוק מהחוף, עוצמת ההשפעה קטנה מעט באופן מקומי, אך תחום ההשפעה מתרחב לאורך קטעי חוף שכנים לטווחים ארוכים יותר, ובכל מקרה צפויה התפתחות חסימה בהסעה האורכית. נראה כי ניתן לפתח איים מלאכותיים כבר החל מעומק מים של 15 מטר, מעבר לרצועת המישברים. ההנחה היא כי מבנה של אי מלאכותי יגרום לשינויים סדימנטולוגיים, ולפיכך תידרש תחזוקת חופים ומבנים נאותה ורציפה לכל אורך חיי הפרויקט לצורך שמירת רציפות הסעת החול. דבר זה ייעשה על-ידי מגוון פעולות שיוחלט עליהן בעת התכנון המפורט, כגון הקמת שוברי גלים מנותקים וביצוע פעולות העברת חול מכאניות תקופתיות או הידראוליות (Sand by-passing), שהינה השיטה הנפוצה והמועדפת כיום בכל העולם.
- משמעות הקמת מבנים בים, כגון איים מלאכותיים אך גם שוברי גלים, "דורבנות" וכדומה, לכולם השפעה מכרעת על הסעת החולות ובהתאם לכך על רוחב החופים, איכות המים, כרסום בבסיסי מצוקי חוף וסכנות גלישה והתמוטטותם.
- על פי משרד הפנים, מנהל התכנון, הוועדה למימי חופין (1999), המורפולוגיה של מדף היבשת מאופיינת בהצטמצמות המדף ובהגדלת שיפועו ככל שמתקדמים לצפון. מול חופי סיני רוחב המדף נע בין 40–50 ק"מ, מול ראש הכרמל 10 ק"מ, ואילו מול חופי לבנון הוא מצטמצם עד 3–5 ק"מ. מדרון היבשת מאופיין בעלייה בשיפועו לכיוון צפון, מ-3° בממוצע בדרום עד 6° בממוצע בצפון המדינה. את קצה מדף היבשת ומדרונו חורצים מספר קניונים, בעיקר צפונית לראש הכרמל (איור 30).



איור 29: מיפוי המאפיינים הסדימנטולוגיים לאורך החוף (מתוך מסמך המדיניות למימי החופין)



1. קניון שנוצר על ידי נחל כזיב הקדום. 2. רכסי כורכר – קו החוף של ארץ ישראל לפני כ-10,000 שנה. 3. שברים גיאולוגיים. 4. ככל הנראה, האפיק הקדום של הקישון. 5. המשכו של רכס הכרמל מתחת לים. 6. קצה מדף היבשת - תחילת עומק ים מעל אלף מטר

איור 30: הדמיה של מבנה קרקעית הים מול חופה הצפוני של ישראל (מקור: המכון לחקר ימים ואגמים)

מיפוי האזורים האפשריים למיקום איים מלאכותיים בהתחשב במגבלות שתוארו לעיל נעשה על ידי הוועדה למדיניות איים מלאכותיים (1997). מפת הרגישות מהווה בסיס לתהליך מפורט יותר לקבלת החלטות והמשך בדיקות לפרויקטים ספציפיים במיקומים מדויקים.

המפות (איורים 31, 32, 33) מבוססות על שקלול מרחבי של אזורים בעלי חשיבות לשמירה על משאבי טבע ואיכות הסביבה ואזורים שקיימות בהם מגבלות שונות. הנושאים שנלקחו בחשבון לצורך יצירת שכבות הרגישות הם:

- בתימטריה
- קו החוף ושימושי קרקע לאורכו
- שברים גיאולוגיים
- קו הגז הימי המתוכנן (עפ"י תמ"א 37)
- נתיבי תחבורה ימיים
- ערכי טבע
- אזורים אסורים בתנועה, כגון שטחי אש
- אתרי עתיקות מוכרזים.

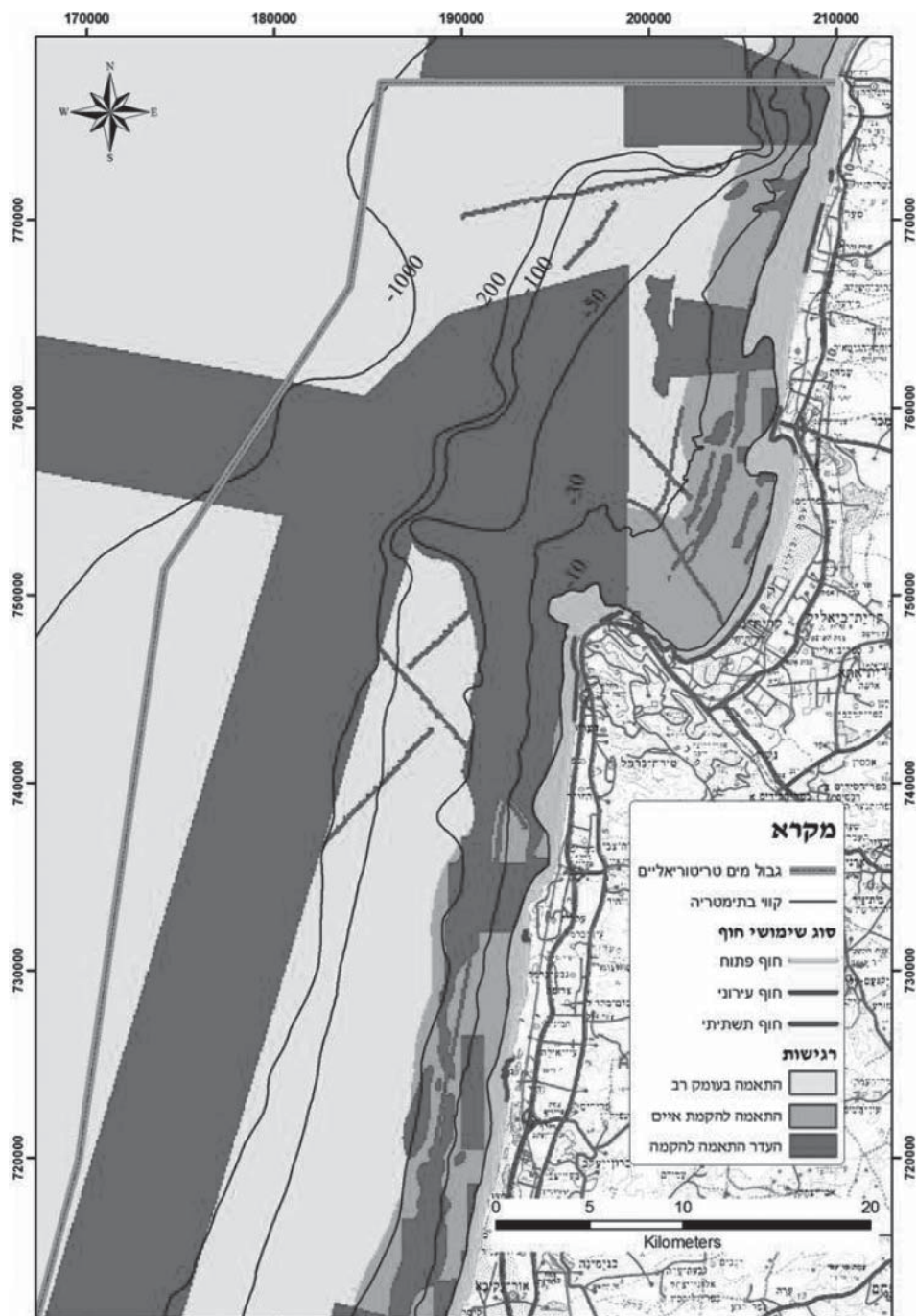
המרחק מהחוף בא לידי ביטוי על ידי הפחתת הרגישות עם העלייה במרחק, החל מעומק מים של 10 מטר. במפות ניתן להבחין בשלושה אזורי רגישות עיקריים:

התאמה להקמת איים – כל האזורים הנמצאים בקירבה יחסית לחוף ואשר אינם כוללים בתוכם ערכים סביבתיים חשובים לשמירה ו/או הגבלות אחרות ומתאימים לשיטות הבנייה הקונבנציונליות.

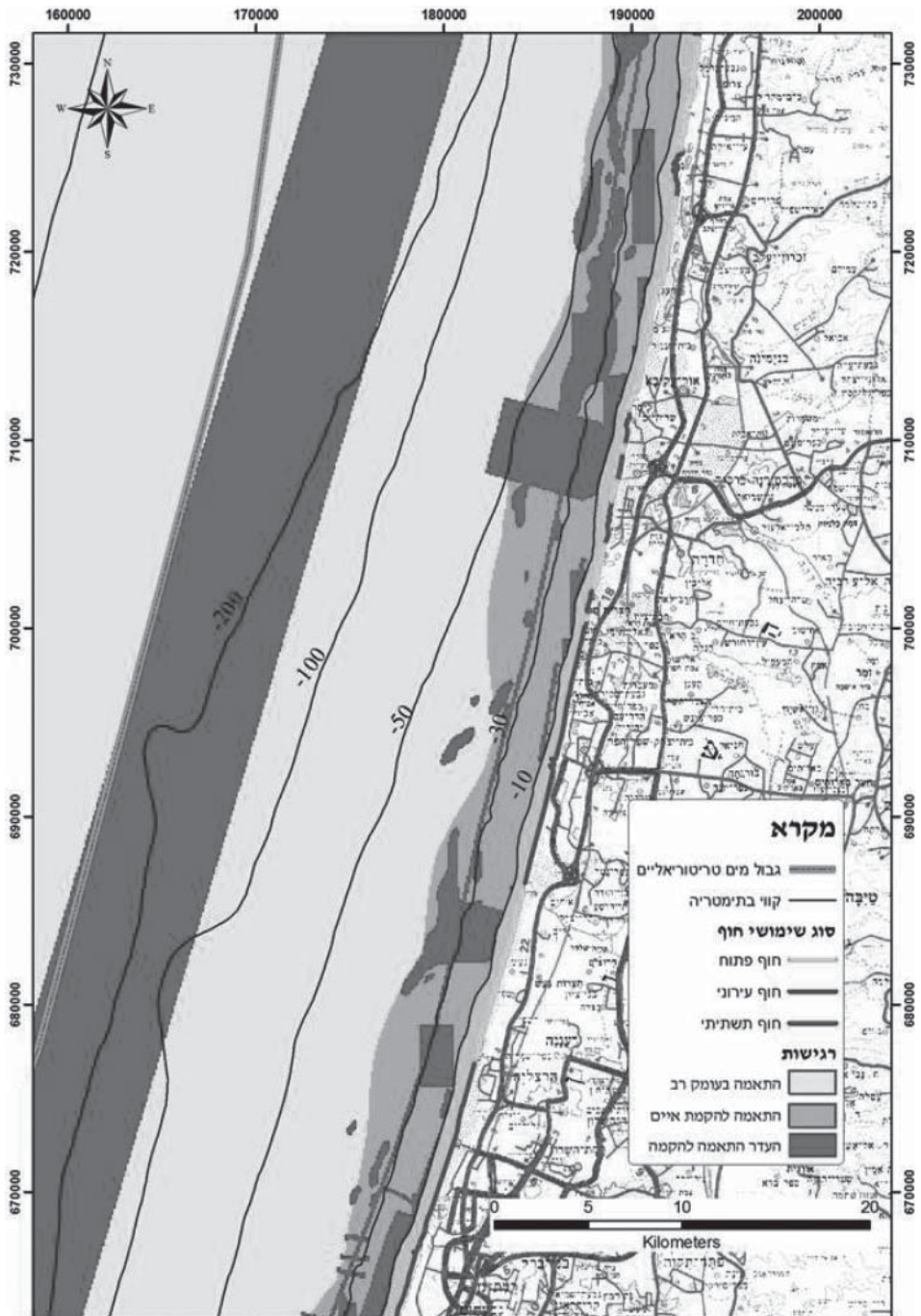
התאמה בעומק רב – אזורים מרוחקים יותר מהחוף, אשר אינם כוללים תחומי רגישות או תחומי הגבלות, ומתאימים גם לפיתוח, בתלות בשיטת בנייה בעומקים אלה.

העדר התאמה להקמה – אזורים בהם כלולים ערכים סביבתיים חשובים לשמירה ו/או הגבלות אחרות שבגינן לא ניתן לפתח איים.

מגבלה נוספת, אשר יש לקחת בחשבון כאשר באים לתכנן אי מלאכותי בחופי ישראל היא גובה הגלים. לגובה הגלים, תדירותם ועוצמתם השפעה רבה על הסעת הסדימנטים כפי שראינו קודם, וכן על הצורך בקביעת מפלס האי ובניית קירות מגן שיעמדו מולם.

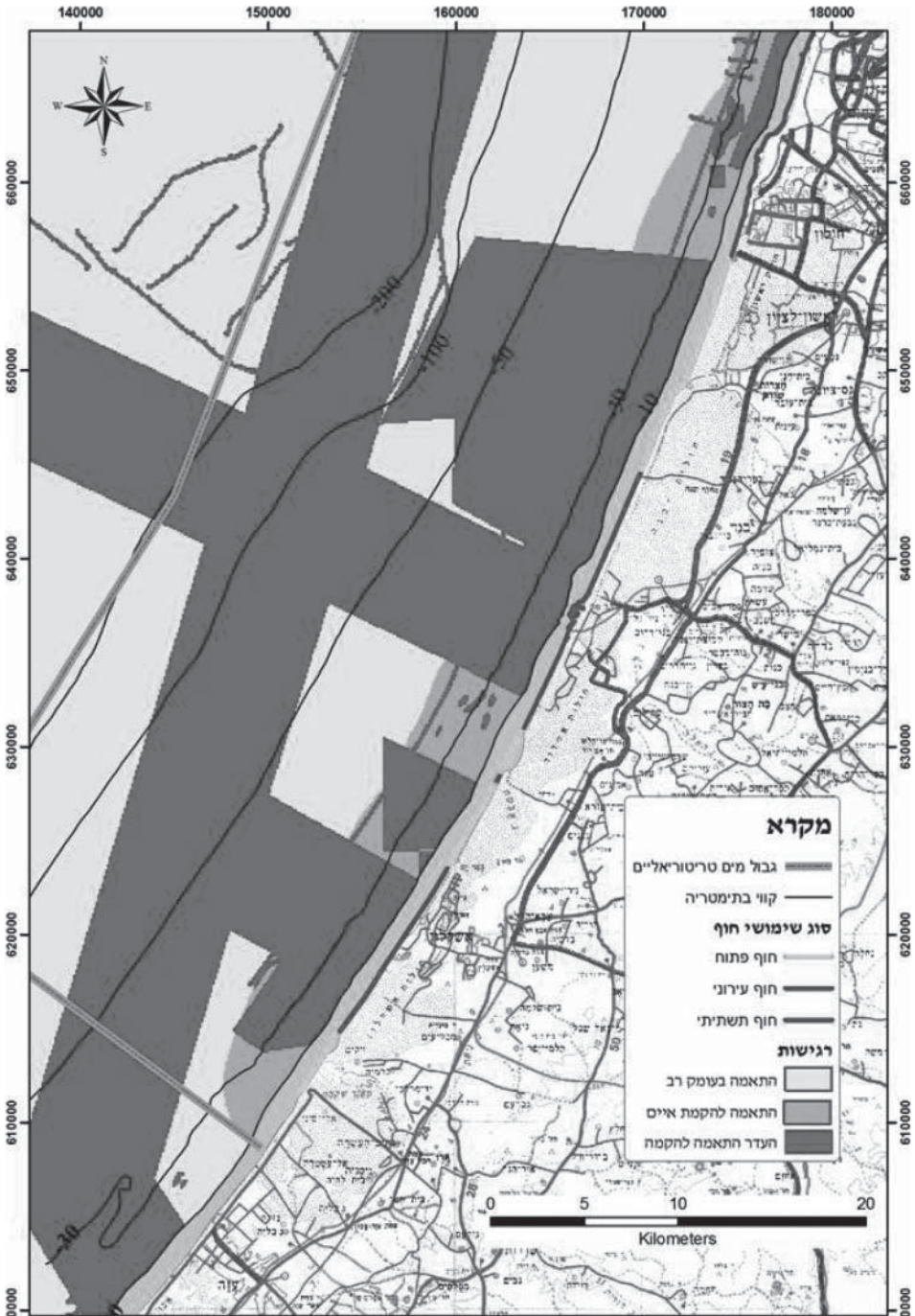


איור 31: מיפוי התאמה להקמת איים מלאכותיים - אזור צפון (מקור: הוועדה למדיניות איים מלאכותיים, 1997)



איור 32: מיפוי התאמה להקמת איים מלאכותיים - אזור מרכז (מקור: הוועדה למדיניות איים מלאכותיים,

1997)



איור 33: מיפוי התאמה להקמת איים מלאכותיים - אזור דרום (מקור: הוועדה למדיניות איים מלאכותיים, 1997)

שני גורמים משפיעים על מפלס האי ועל בניית קירות המגן:

1. השתנות מפלס מי הים

2. גובה הגלים.

אומדן של מפלסי ים קיצוניים בחוף הישראלי בים התיכון הנובעים ממועדי ים אסטרונומיים (גאות ושפל) ומאירועים מטאורולוגיים ללא התחשבות בהשפעות שינוי האקלים ותרומתו לעליית מפלס הים מוצג בטבלה 3.

טבלה 3: מפלסי ים קיצוניים (ללא השפעת שינוי האקלים)

מפלס ים נמוך (מטר)	מפלס ים גבוה (מטר)	תקופת חזרה ממוצעת (שנים)
-0.38	0.64	1
-0.74	1.04	50
-0.87	1.10	100

(מקור: התמוטטות המצוק בחופי ישראל, 2010)

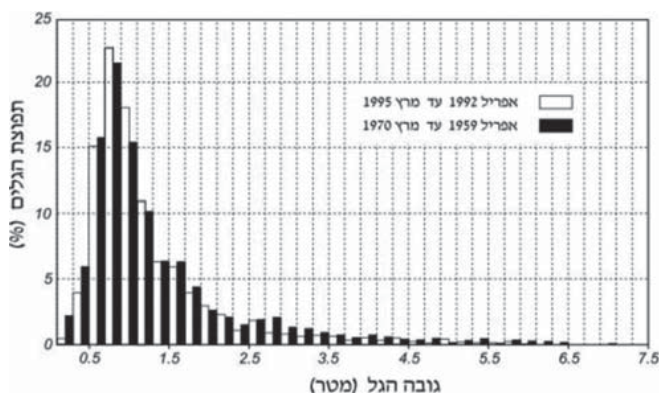
דוח הפאנל הבין-ממשלתי לבחינת שינוי האקלים (IPCC 2007) מציג תחזית לעלייה במפלס הים העולמי של כ-20 ס"מ עד 2030 וכ-60 ס"מ עד 2100. התחזית האחרונה הנמוכה מתחזית קודמת משנת 2001, איננה כוללת השפעות של היזון חוזר במחזור הפחמן ושל הפשרה מהירה של כיפות קרח באזור הקטבים ולפיכך עשויה להיות הערכת חסר. אומדן שונה לעליית מפלס הים, אשר אומץ על ידי ממשלת גרמניה, חוזה עלייה של עד כ-1.35 מטר עד 2100. אומדן דומה וגבוה יחסית של כ-1 מטר ואולי אף יותר לשנת 2100 פורסם ב-2007 בעבודה של המכון האנגלי לחקר האזור הארקטי, המעלה כי קצב הפשרת כיפות הקרח גדול מזה ששימש באומדנים של 2001. דוח חדש שפורסם לאחרונה המסכם מחקר בינלאומי של מאה מדענים (SCAR 2009) קובע כי מפלס הים שהתרומם מאז 1870 בקצב ממוצע של 1.7 מ"מ/שנה, עולה בעשורים האחרונים בקצב מואץ של כ-2.5 מ"מ/שנה העשוי להביא לעלייה של עד 1.4 מטר בסוף המאה הנוכחית.

ניתוח משטר הגלים על פי המדידות הקיימות בארץ מאז 1958 מאפשר לאמוד תקופות חזרה של מצבי ים קיצוניים, המאופיינים על ידי גובה הגל האופייני במים עמוקים (טבלה 4, איור 34). אומדן של שינוי משטר הגלים עד 2100 על פי מחקרים בעולם מצביע על סבירות לשינוי בשכיחות ההתרחשות של סערות קיצוניות, כלומר הקטנה של תקופת החזרה הממוצעת של הסערות הנדירות. ניתן גם להניח כי שינוי האקלים יגרום לעלייה של כ-5% בגובה הגלים עבור אותה תקופת חזרה בממוצע. מכאן שיש לבנות את האיים המלאכותיים כך שיעמדו בתנאי הקיצון שתוארו לעיל.

טבלה 4: תקופות חזרה של מצבי ים נדירים ואומדן רום "טיפוס" הגלים בחוף

אומדן רום "טיפוס" גלים מרבי		מצבי ים נדירים	
רום טיפוס גלים מרבי (מטר)	תקופת חזרה ממוצעת (שנים)	גובה גל משמעותי במים עמוקים (מטר)	תקופת חזרה ממוצעת (שנים)
4.09	1	4.80	1
4.87	5	6.15	5
5.51	20	7.40	20
7.39	50	8.20	50
8.32	100	8.70	100

(מקור: התמוטטות המצוק בחופי ישראל, 2010)



איור 34: הגלים ושכיחות הופעתם בשנים 1959–1970, 1992–1995

מצאי חומרי המילוי

אי מלאכותי הוא פרויקט עתיר חומרי גלם. על פי הערכות, לאי מלאכותי בסדר גודל של 2,000 דונם יש צורך בכ-70 מיליון מ"ק של חומרי מילוי וכן כ-10 מיליון מ"ק של חומרי מחצבה לבניית שוברי הגלים.

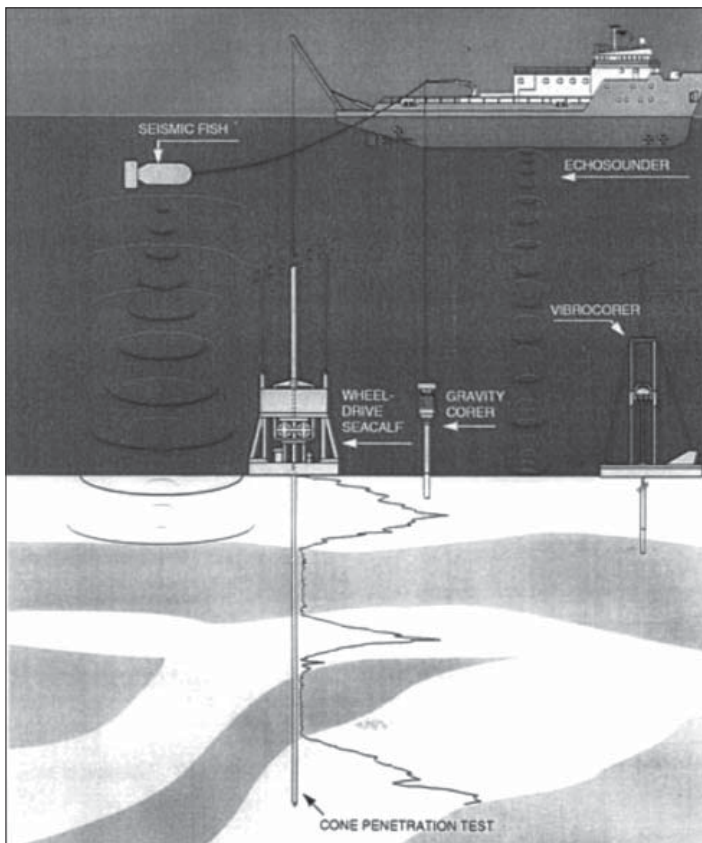
על פי מומחי הנדסת קרקע נדרשת איכות מסוימת מחומרי מילוי לבניית איים מלאכותיים, חומר מילוי מתאים הוגדר:

- אחוז הדקים (טיין וחרסית) המכסימלי יהיה קטן מ-5%.
- הצפיפות היחסית של חומר המילוי חייבת להיות גדולה מ-50%.
- עבור חול, הצפיפות היחסית המינימלית הנדרשת היא 70%.

- מקדם החדירות צריך להיות גדול מ: $K=1,100 \text{ cm/sec}$.
- גודל הגרגרים המקסימלי 75 מ"מ.

במסגרת הוועדה המשותפת הולנד ישראל (משרד התשתיות הלאומיות 2000) בוצע מחקר קרקע, נאספו נתונים של סקרים סייסמיים, דגימות וקידוחים שבוצעו בשנים קודמות, בקטע שבין חדרה לזיקים נערך סקר סייסימי רדוד באמצעות ציוד חדיש. באזורים בעלי פוטנציאל גבוה למציאת חומר מילוי מתאים בוצעו 44 קידוחים, 32 החדרות סטאטיות ו-19 קידוחי גלעין בשכבות הכורכר (איור 35).

בעומק מים קטן מ-30 מטר מסתמן מצאי של חול באיכות טובה ובכמויות יחסית גדולות, אולם מומלץ לא לאשר כרייה של חול בעומק מים רדודים עקב החשש להשפעות סביבתיות ימיות שליליות על קו החוף הקיים.



איור 35: קידוחי גלעין בעזרת מקדח Seasam בשכבות הכורכר

חול – הקידוחים והחקירות שבוצעו בים לא איתרו אזורי כרייה של חול נקי מטין וחרסית העומד בדרישות. התגלו שכבות חול מתחת לשכבה של מספר מטרים של חרסית רכה שהיה צורך לחפור אותה כדי להגיע לשכבות החול המתאים. בכל מקרה, נראה שהחול יידרש לעבור טיפול של ניקוי, דבר שייקר את העלות. החישובים שנעשו על ידי חברת בוסקלים מראים שבשטח שנבדק יש מצאי של 21 מיליון מ"ק של חומר מתאים.

כורכר – הכורכר שהתגלה בקידוחים שבוצעו הינו בעל חוזק נמוך, ולכן מאפשר כרייה ימית בעזרת ציוד מתאים. לפי החישובים שבוצעו יש בשטח הנבדק, בעומק מים גדול מ-20 מטר, כ-92 מיליון מ"ק כורכר חשוף המתאים לשמש כחומר מילוי. על פי מחקר שנערך ב-1957 על יד UNDP הוערך שבמפרץ חיפה יש מצאי של 20 מיליון מ"ק של חומרי מילוי.

אפשרות של כריית חול מול חופי סיני ומצריים זמינה וקיימת, אך מותנית בהסכם בין המדינות, דבר שלא בטוח שהוא אפשרי בימים אלה עקב המצב במצרים.

מקורות חומרי מילוי נוספים מצויים ביבשה, והם מתחלקים למקורות טבעיים ומקורות שניוניים. ביבשה קיימות עתודות חול באזור הדרום. עקרונית ניתן להפיק חומרי מילוי מכריית סלעים ועפר במקומות שונים בארץ (כדוגמת השיטה ביפן). ביצוע כרייה כזו חייב לעמוד בקריטריונים סביבתיים וכלכליים חמורים אשר מוציאים מכלל אפשרות את מרבית האזורים בארץ. כריית הסלעים הדרושה להקמת אי מלאכותי, תדרוש היערכות מיוחדת במחצבות הקיימות או פתיחת אזורי כרייה חדשים. כריית חומרים מאזורים שונים בנגב מהווה בעיה בגלל עלויות ההובלה הגדולות.

מקורות שניוניים יכולים להיות עודפי אפר פחם מתחנות כוח, פסולת בניין ופסולות שונות של אגרגטים. אולם על פי הערכות שונות כמויות חומר המילוי ממקורות אלה אינו גדול.

לסיכום, נראה כי בישראל קיימת בעיה של מצאי חומר מילוי זמין. על פי ההערכות שנסקרו לעיל, הכמות הזמינה כיום יכולה להספיק להקמת אי יחיד בסדר גודל של כ-2,000 דונם. בהמשך תידרש הרחבת בדיקת הזמינות לחומרי המילוי ממקור ימי, או בחינת חלופות אחרות.

פרק רביעי: היבטים סביבתיים בבניית איים מלאכותיים

הקמת איים מלאכותיים נוכח חופי ישראל טומנת בחובה משמעויות רבות מההיבטים הסביבתיים. אף על פי שרעיון בניית איים בידי אדם הוא שובה לב ומצית את הדמיון, במיוחד במדינת ישראל בה מצוקת הקרקע חמורה מאוד, במיוחד במישור החוף, אל לנו להקל ראש בהיבטים הסביבתיים, ויש לבחון, להכיר את הפרטים ולהתחשב בהם על מנת לצמצם למינימום את הפגיעה בחוף ובים למעננו ולמען הדורות הבאים.

שני תהליכים דינמיים ובסיסיים קובעים כאמור, את מבנה החוף: האחד הוא הסעת חול מן החוף במעלה הזרם בעיקר על ידי פעולת הגלים. הסעה זו גורמת לגריעת חול מהחוף ולארוזיה שלו. במקביל חל תהליך של שיקוע החול המובא אל החוף על ידי זרימה מאזורים שבמורד הזרם, בעיקר מפיתחת הנילוס שבמצרים. שיווי המשקל בין שני תהליכים הפוכים אלה יוצר את קו החוף, וכל הפרה של האיזון ביניהם תביא לשינוי בקו החוף.

החול שהינו הסיבה העיקרית ליפיים של החופים בארץ, נע בתוך הים עד לעומק מים של 15-20 מטר. כל הפרעה לתנועתו בתחום מים זה, הנקרא "תחום הסעת החולות", עלולה להתבטא בנזק לחוף. בישראל מספר דוגמאות לנזקים שנגרמו לחוף בעקבות הקמת מבנים ימיים גדולים כמו נמל אשדוד בשנות ה-60, או המרינות של הרצליה ואשקלון בשנות ה-90.

אי מלאכותי הוא גוף גדול יחסית, הצפוי לשנות את מאזן ההיסעים והשיקוע באזור הסמוך לו. האי יוצר אזור של מים מוגנים בינו ובין החוף, בהם פעילות הגלים והזרמים נמוכה מאשר בים הפתוח, לדבר מספר תופעות לוואי:

- בשל הזרימה הנמוכה, הסעת החולות באזור שבין האי לחוף קטנה, ולכן מצטבר ביניהם חול ונוצר "צוואר של חול" הנקרא טומבולו. עם הזמן המרווח בין האי לחוף נסתם. (איורים 36, 37).
- הטומבולו גורם לכך שבהמשכו לא תהיה הסעה של חול, אך תהליך גריעת החול בחוף ימשך, הארוזיה תגבר ותתרחש פגיעה בקו החוף עם התמוטטות מצוק הכורכר.
- הצטברות פסולת ואצות.

לצורת האי ולמרחקו מן החוף השפעה על קצב השינויים הצפויים. ככל שיחס המרחק לממד האי, המקביל לחוף גדול יותר, השפעת האי על יצירת הטומבולו קטנה יותר. מקובל להניח שאם מרחקו מהחוף יהיה לפחות פי שניים מרוחבו - השפעתו תהייה מינימלית, (לדוגמא אי בגודל 1x1



איור 37: תופעת הטומבולו בחוף נתניה

ק"מ, רצוי שייבנה לפחות במרחק של 2 ק"מ מהחוף). אי בצורה מלבנית, שצלעו הארוכה מקבילה לחוף יוצר טומבולו בקצב מהיר יותר מאי מרובע שצלעו קטנה יותר, והנמצא באותו מרחק מהחוף. לצורת הטיפה, שהקצה הדק שלה קרוב לחוף והקצה העבה רחוק ממנו ההשפעה הקטנה ביותר.



איור 36: תופעת הטומבולו בעקבות שוברי הגלים - חוף תל אביב

תופעת התמוטטות המצוקים ונסיגתם מזרחה מתרחשת בגין הרכבו הפריך ומיקומו המיוחד וכתוצאה משילוב של שלושה תהליכים עיקריים. אלה כוללים בראש ובראשונה את חתירת גלי הים בבסיס (בוהן) המצוק, המשמרת את תלילותו, את אי יציבות המדרון ואת פעולת הנגר העילי (איור 38). התמוטטות המצוק הינה תופעת טבע הנגרמת משורה של גורמים הקשורים במפלס הים, במשטר הגלים ובמאזן החול במרחב החופי. **התהליך חזוי להתעצם בגין התערבות אנושית ישירה ועקיפה**, המשפיעה על גורמים אלה וכוללת בניית מבני חוף (כגון נמלים, מרינות, שוברי גלים ואיים מלאכותיים), כריית חול, ופגיעה במקור החול בעקבות הקמת סכר אסואן וייצוב הדלתה של הנילוס, בעיקר בגין שינויים אקלימיים המתבטאים בעלייה מואצת במפלס הים ובשינוי משטר הגלים. (תחזיות עכשוויות נוקבות באפשרות לעלייה של עד 1.4 מטר במפלס הים עד סוף המאה הנוכחית!).

כפתרון לנזקים הצפויים לחופים מוצעת הסעת חולות על ידי תחזוקה קבועה בסביבות האי, כולל שאיבה מתמדת של החול המצטבר בין האי לחוף על ידי כרייה (Dredging), והעברתו לאזורי הארוזיה, תהליך הקרוי Bypassing. נושא זה צריך כמובן להילקח בתחשיבי העלות הכוללת של הקמת אי מלאכותי.

פעולות מסוג זה מבוצעות כבר היום על ידי חברת נמלי ישראל באזורי נמלי הים חיפה ואשדוד. בנובמבר 2011 בוצע פרויקט העשרת חופים בחיפה, באמצעות העברת חול ים טבעי שנכרה



איור 38: חזית המצוק בחוף נתניה (מקור: התמוטטות המצוק בחופי ישראל, 2010)

מקרקעית הים. במסגרת הפרויקט הועברו 50 אלף מ"ק חול ים נקי שהצטבר מעבר לשובר הגלים של נמל חיפה אל חופי קריית חיים, בעיקר מול "חוף יהודית נאות". פרויקט נוסף של הזנת החופים בוצע באזור נמל אשדוד במהלך קיץ 2011. במסגרת הפרויקט העבירה חברת נמלי ישראל כ-330 אלף מ"ק חול ים נקי שהצטבר מדרום לנמל אשדוד אל אזור ההזנה מצפון לו, מפלמחים ועד תל יבנה ים (היקף הפרויקט מוערך בכ-10 מיליון ₪). הפעולות המתקנות, **מוטמעות בהוראות התוכניות** להקמת שוברי הגלים ורציפי הנמל באשדוד. ההוראות כוללות ניטור תקופתי במטרה לעקוב אחר מגמת השתנות עומק קרקעית הים ותוואי קו החוף כתוצאה מחסימה של מבנה ימי. שינויים בקו החוף המנוטרים באופן שיטתי ושגרתי ופעולות מתקנות צפויות להתבצע מידי שנה. הפעילות במתכונת זו הינה כמקובל במדינות מתקדמות בעולם.

השפעה על החי - מבנים ימיים משנים את מבנה החוף ושיפועי החוף בקרבם ויש בהם כדי להשפיע על רוחב רצועת החוף החולי במידה שהקמתם מגבירה את קצב גריעת החול בחופים הסמוכים. צמצום רוחב החוף החולי באזורי ההטלה של צבי ים פוגע ברבייתם ומגביר את הסכנה להכחדתם, כמו כן יש השפעה על זנים נוספים של חי וצומח בסביבת החוף.

עיקר הפעילות הביולוגית הימית מתרחשת ברצועה הימית הרדודה. שוניות מתפקדות כעין "כליות ימיות" השומרות על איכות המים בים. רצועת השוניות, עם צומח האצות העשיר, מהווה גם מעין "בית אימון" למיני דגים רבים ולבעלי חיים אחרים. חגורה צרה זו סובלת מפגיעות רבות לאורך חוף הים, ורובה נותר ברצועת השרטונות והאיונים (בעיקר מיפו וצפונה. הבולטת ביותר מערבה מקו החוף נמצאת סמוך למסוף הפחם בחדרה). על כן, יש לשמור על שדרה זו לא רק למען ערכי הטבע והמגוון הביולוגי, אלא גם למען שימור שירותי מערכת חשבים שהיא מספקת לסובב הימי.

השפעה נופית – הקמת אי מלאכותי מול החוף תשנה לחלוטין ולתמיד את קו האופק. לא עוד מפגש של ים ושמיים, "טבע מוחלט", אלא המשך ויזואלי של העיר אל תוך הים. בנייה בים של גוש בנוי הופכת את החופים המהווים מפלט מהעיר על צפיפותה ורעשיה, להמשך מאותו דבר. בניית אי מלאכותי, לדעת הארגונים הירוקים (כמו אדם טבע ודין), זהה לבניית פרור נוסף של העיר, רק בכיוון מערב. זה אינו פרור מגורים רגיל, שיכול להיות אסתטי, ירוק ורגוע, או אפילו לתרום למאזן השטחים הפתוחים בעיר. מדובר בגוש אטום, גבוה ורועש. במקרה של שדה תעופה, רעש של נחיתות, המראות, רמקולים, עשן, פליטות מזהמים וכלי רכב שיצטופפו בפקק נוסף ביציאה מהעיר, הפעם לכיוון הים.

במסגרת היבטי איכות הסביבה, ראוי, כמובן, לציין את הצד השני של המטבע; מתקני תשתית שהוקמו לפני עשרות שנים נמצאים כיום בסמיכות רבה ליישובים שהוקמו והתרחבו, ומשיתים סיכונים רבים לאדם ולסביבה. האפשרות של העתקת תשתיות מזהמות ומסוכנות לציבור אל איים מלאכותיים בים, הרחק ממקומות יישוב יכולה להביא לתרומה כפולה. מצד אחד הרחקת מפגעים (לדוגמה מתקני הזיקוק, חוות אחסון אמוניה ודלק במפרץ חיפה) והקטנת הסיכון עבור הציבור, ומאידך פינוי השטח שיכול לשמש לרווחת הציבור למגורים, אזורים ירוקים, תיירות וכו' (איור 39).

עתיקות – על פי משרד הפנים, מנהל התכנון, הוועדה למימי חופין (1999), באלפי השנים האחרונות התבצעה באזור החוף של ישראל פעילות אנושית אינטנסיבית שכללה התיישבות, ספנות, מסחר, דיג, מלחמות ופלישות עמים. פעילות זו הותירה שרידים ארכאולוגיים רבים, המרוכזים ברצועה צרה וארוכה לאורך החופים. ממצאי המחקר הארכאולוגי התת-ימי בישראל מצביעים על ריכוזים גדולים של ספינות טרופות סמוך ליישובי החוף, בנמלים ובמעגנות ברצועה הקרובה לחוף, שאורכה כ-200 ק"מ ורוחבה כ-400-500 מטר מרוכז רוב פוטנציאל השרידים הארכאולוגיים של ישראל. שרידים בעומקים רבים יותר, בלב ים, הם נדירים יותר.

בעבר היה מישור החוף באזורנו רחב יותר וקו החוף היה במרחק של כעשרה ק"מ מערבית לקו החוף של ימינו. בהמשך חלה התחממות ופני הים עלו והציפו אזורים יבשתיים. הים הגואה הציף שרידי יישובים שהיו בקרבת החוף, שרידים הנמצאים היום מתחת לפני הים.



איור 39: הדמיה של שדה תעופה, במרחק 2,550 מטר מהחוף עם גשר גישה (מקור: מסמך מדיניות לאיים מלאכותיים לתשתיות, 2007)

הכפרים שהתגלו בחוף הכרמל, בחיפה ובעתלית שייכים לתקופת האבן החדשה – התרבות הניאוליתית, וגילם כ-6,500–8,000 שנה. בשלושים השנים האחרונות נתגלו כמה יישובים פרהיסטוריים על קרקעית הים מקו החוף ועד לעומק 12 מטר. הכפרים הפרהיסטוריים, שהתגלו על קרקעית הים בארץ הם מהשמורים בעולם ומספקים מידע חשוב ואיכותי על כלכלת ותרבות אוכלוסיות החוף בתקופה הניאוליתית.

אזור קו החוף רגיש מאוד לשינויים, ולכל הפרעה במערכת הסביבתית יכולה להיות השפעה מרחיקת לכת. פעולות כגון כריית חול לצורך בנייה, הקמת סכר אסואן, בניית מעגנות, שוברי גלים ודרבנות, הפרו את שיווי המשקל העדין של החולות המכסים את מדף היבשת הרדוד לאורך חופי ישראל. שכבת החולות שכיסתה את השרידים הארכאולוגיים איבדה מעובייה, והחל משנות השלושים החלו להיחשף על קרקעית הים אזורים שהיו מכוסים חול במשך אלפי שנים. פרט להשפעות הקשורות בחשיפת השרידים הארכאולוגיים, גרמה כריית החול להרס החופים והמצוק החופי עליו מצויות אחדות מערי החוף העתיקות: אשקלון, אפולוניה, קיסריה ואחרות. באשקלון למשל, בניית המרינה והרחבת הנמל ובריכת הקירור של חברת החשמל גרמו לגריעה משמעותית של חול באזור החוף. על

ידי כך נחשפו שרידים עתיקים רבים על קרקעית הים ובחוף. החשיפה המהירה של השרידים על ידי הגלים והזרמים גורמת להרס השרידים. בהיעדר שכבת חול מגינה, מתמוטט המצוק החופי ונסוג בקצב מהיר, דבר הגורם להרס מסיבי למבנים ולחומות העתיקות, שחלקים רבים מהם מתמוטטים וצונחים לים.

העובדה שעיקר השרידים הארכאולוגיים נמצאים במרחק של עד כ-500 מטר מהחוף, לא מהווה, ככל הנראה, מגבלה תכנונית בהקשר של האיים המלאכותיים. יחד עם זאת, לגבי אתרים סמוכים או כאלו שיכולים להיות מושפעים מהקמת איים, כמו גם אתרים הנמצאים בסביבת גשר הגישה, יש צורך בהמשך חקירה, תיעוד או כל פעולה אחרת שתידרש על ידי רשות העתיקות.



איור 40: מצוק חוף אפולוניה, שחלקים ממנו קרסו (מקור: התמוטטות המצוק בחופי ישראל, 2010)

פרק חמישי: ההיבטים הכלכליים של הקמת איים מלאכותיים

אומדן ההשקעות מבוסס על ההנחה כי האי המלאכותי יוקם בשיטה הקונבנציונלית של בניית שוברי גלים מדורגים בהיקף האי ומילוי נפחו באמצעות חול שייכרה מקרקעית הים או ייובא ממקורות אחרים ויעבר אל תוך התחום המוקף בשוברי הגלים. מרכיבי העלות העיקריים הינם:

- בניית שוברי הגלים – חומרים טבעיים או בנויים בטון.
- חומר המילוי – עבודות הכרייה וההובלה. עבור אי גדול זה מרכיב העלות העיקרי.
- המקשר הימי – בהנחה שהפרויקט יכלול גשר ולאורכו קווי תשתית של צינורות וכבלים.
- הוצאות כלליות של סקרים, תכנון, פיקוח וייעוץ. עלויות מימון עבור התקופה מתחילת הקמת האי המלאכותי ועד שניתן יהיה להתחיל להקים עליו את מתקן התשתית.

לצורך התחשיבים הכלכליים באים בחשבון מרכיבים נוספים:

- עלות יתר של בניית מתקני התשתית על האי ביחס להקמתם ביבשה, עקב צורך בהגנה בפני קורוזיה ועלויות ביסוס מיוחדות.
- עלויות תחזוקה של האי ושוברי הגלים הכוללות העברת סדימנטים באופן מלאכותי וכן אחזקת מבנה האי ושוברי הגלים.
- עלויות תחזוקה נוספות של מתקני התשתית שיוקמו על האי עקב תנאים קורוזיביים של הסביבה הימית.

העיקרון העומד בבסיס החשיבה להקמת או העברת תשתיות לאיים הינו כי התועלת הכוללת של ערכי קרקע תפוסה ובעלת השפעות סביבתיות המתפנה באזורי ביקוש מאפשרים את מימון ההשקעות הניכרות הנדרשות להקמת איים מלאכותיים והקמת התשתיות עליהם.

יש לראות את נושא האיים המלאכותיים לתשתיות כפתרון אפשרי לטווח של כ-20-30 השנים הבאות: משך הזמן הדרוש לתהליכי קבלת החלטות, תכנון ברמות השונות, בניית המודל העסקי ומימוש פרויקט לאומי מסוג זה. ניתן להניח כי בעתיד יחולו שינויים ניכרים בערכי הקרקע ביבשה ובהערכת המשמעות הכוללות, הסביבתיות והחברתיות, של הקמת מתקנים בשטחים פתוחים או בסמיכות לאזורים מיושבים, אשר יתרמו לחלופת המתקנים על איים בים אל מול חלופת הקמתם ביבשה.

רק לשם השוואה לנתונים שיוצגו בהמשך, הערכת שווי הקרקע שתתפנה במתחם שדה דב מוערכת בכמיליארד \$5. בנוסף לכך, שדה דב מהווה מגבלה תכנונית בתב"ע מאושרות מבחינת גובה בניינים מותר לבנייה, עובדה הפוגעת בניצול הקרקע וכמובן שפינוי השדה ימנע מגבלה זו.

על פי דוח לרמן אדריכלים (1998), שנעשה עבור אי למגורים בשטח של 2,000 דונם:

- עלות הקמת האי – בין 545–1,133 דולר למ"ר של אי חשוף – עלות בסיסית של 1.09–2.26 מיליארד דולר.
- אומדן עלות גשר ברוחב של כ-30 מטר באורך 1.5 ק"מ – 115–135 מיליון דולר.

על פי הדוח המסכם של הצוות המשותף הולנד ישראל (משרד התשתיות הלאומיות 2000): (הדוח הוכן על ידי חנוך בן אליהו, מהצד הישראלי ו-Dirk Zwemmer, מהצד ההולנדי).

- אי עבור שדה תעופה בשטח של 2,320 דונם, במרחק של 2 ק"מ מהחוף ובעומק מים של בין 21–30 מטר. הערכה כוללת של עלות האי (כולל גשר) הינה 1.4–1.9 מיליארד דולר, כלומר כ-603–819 דולר למטר.
- אי למגורים בשטח של 2,000 דונם במרחק של 1,250 מטר מהחוף ובעומק של 12–33 מטר. הערכה כוללת של עלות האי (כולל גשר) הינה 1.1–1.4 מיליארד דולר, כלומר כ-550–700 דולר למטר.
- עלויות האחזקה מוערכות ב-800 אלף דולר לשנה, והן כוללות הסעת חולות מלאכותית, אחזקת שובר הגלים ואחזקת הגשר.

על פי נספח A של הדוח המסכם של הצוות המשותף הולנד ישראל (משרד התשתיות הלאומיות 2000) (נספח זה הינו תחשיב של חברת ייעוץ הולנדית (Livense')):

- עלות בסיסית של אי חשוף 450–600 דולר למ"ר, כלומר כ-0.9–1.2 מיליארד דולר, לאי בשטח של 2,000 דונם.
- עלויות אחזקה: העברת חולות – 300 אלף דולר לשנה, אחזקת שוברי גלים – 500 אלף דולר לשנה, אחזקת גשר – 200 אלף דולר לשנה. בסה"כ מיליון דולר בשנה לאחזקה.

על פי מסמך המדיניות לאיים מלאכותיים לתשתיות (2007), דוח מסכם, הנחות היסוד של תחשיבים אלו:

- עומק מים מינימלי 15 מטר.
- שיפוע קרקעית 1:100.
- חומר המילוי ממקורות ימיים, שוברי הגלים משכבות אבן ואלמנטים מבטון.
- אי קטן לתשתיות בשטח של 525 דונם: אומדן עלות שוברי הגלים להגנה על האי, 600 מיליון דולר. עלות מילוי חול ממקורות ימיים, 300 מיליון דולר. עלות הקמת האי: 900 מיליון דולר. שהם כ-1,715 דולר למ"ר. עלות גשר גישה לאי, באורך 1,500 מטר, ברוחב 20 מטר כ-90 מיליון דולר. סה"כ עלות הקמת האי: 990 מיליון דולר. שהם כ-1,886 דולר למ"ר.

- אי גדול עבור שדה תעופה בינ"ל בשטח של 2,400 דונם: אומדן עלות שוברי הגלים להגנה על האי, 1,500 מיליון דולר. עלות מילוי חול ממקורות ימיים, 900 מיליון דולר. עלות הקמת האי: 2,400 מיליון דולר. שהם כ-1,000 דולר למ"ר. עלות גשר גישה לאי, כולל מפלס עבור הרכבת, באורך 1,500 מטר וברוחב 30 מטר כ-135 מיליון דולר. סה"כ עלות הקמת האי: 2,535 מיליון דולר. שהם כ-1,056 דולר למ"ר.
- אומדן עלויות תחזוקה: העברת חולות - 1.6 מיליון דולר לשנה, אחזקת שוברי גלים - 3 מיליון דולר לשנה לאי גדול (1.5 מיליון לאי קטן), אחזקת גשר - 500 אלף דולר לשנה. סה"כ 5.1 מיליון דולר בשנה לאחזקה (3.6 מיליון לאי קטן).

לסיכום, ניתן לראות מהמקורות הנ"ל את סדרי הגודל של עלויות הקמת איים מלאכותיים (בממדים שונים, בעומקים שונים ולצרכים שונים). נשווה עלויות אלו לערך הקרקע המוערכת לדוגמא לשטח המיועד לפינוי בשדה דוב. הקמת האי הבסיסי: 450-1,700 דולר למ"ר (2,000 דונם בעלות של: 900-3,400 מיליון דולר). הגשר: 90-250 מיליון דולר. הסעת חולות: 0.3-1.6 מיליון דולר לשנה. אחזקת האי והגשר: 0.7-3.5 מיליון דולר לשנה.

לשם השוואה, מתחם הגוש הגדול בצפון תל אביב משתרע על שטח של כ-1,000 דונם - בין דרך נמיר לים - ובמרכזו פועל שדה דב ובסיס חיל האוויר בשטח של 800 דונם נוספים. לפי הערכות המדינה, עם הפינוי יופשרו לבנייה כ-1,000 דונם שעליהם תוכל המדינה לבנות 10,370 יחידות דיור ו-4,500 מ"ר מסחר בצפיפות של 12 יחידות לדונם; אלה ישקפו למדינה הכנסות של 1.6 מיליארד דולר - שישמשו, בין השאר, להעתקת שדה דב.

פרק שישי: ההיבטים המשפטיים הנוגעים להקמת איים מלאכותיים

מימי החופים – הסמכויות על פי המשפט הבינלאומי

אמנת האו"ם מחלקת את הים לשישה אזורים, בכל אחד מאזורים אלו יש למדינת החוף סמכויות שונות, כאשר היקף הסמכויות הריבוניות מצטמצם והולך ככל שמתרחקים מהחוף, ובהתאם לכך גם הזכויות הכלכליות:

- **מים פנימיים** (נמלים, מוצא נהרות) – נצפים כחלק מן היבשה מבחינת ריבונות המדינה בהם.
- **מים טריטוריאליים**, מי החופים – 12 מייל – המדינה חייבת לאפשר מעבר בתום לב בהם. המדינה תתווה נתיבי שיט, תתקין תקנות בענייני איכות הסביבה, תעבורה, הגירה ומכס.
- **האזור הסמוך** – 24 מייל – מדינה רשאית להתקין תקנות בנושא איכות הסביבה, תעבורה, הגירה, מכס ועניינים פסיקאליים בלבד.
- **האזור הכלכלי הבלעדי** – 200 מייל – המדינה צריכה להכריז על קיומו, ואם עשתה כן, יש לה הזכות לניצול בלעדי של אוצרות הטבע והדגה, אולם עליה לאפשר למדינות אחרות לנצל את אותם אוצרות שאין ביכולתה לנצל בצורה אופטימלית.
- **המדף היבשתי** – ניצול בלעדי של אוצרות הקרקע במדף היבשתי, אין צורך בהכרזה.
- **לב הים** – אין לשום מדינה בלעדיות וזכות באזור זה. בים הפתוח רשאית כל מדינה לשוט, לטוס, להניח צינורות וכבלים תת-ימיים, לבצע קידוחים, לדוג ולהתאמן בירי.

מימי החופים – הסמכויות על פי חוקי מדינת ישראל

- **חופי רחצה** – על פי חוק הסדרת מקומות רחצה (תשכ"ד, 1964), שר הפנים יכול לקבוע בצו שמקום פלוני יהיה חוף מוכרז. הראשות המקומית מוסמכת לקבוע חוקי עזר עירוניים בדבר בטיחות, ניקיון ותעבורה.
- **איכות הסביבה** – חוק מניעת זיהום הים (תשמ"ג, 1983) אוסר על הטלת פסולת לים מכלי שיט, אלא בהיתר שינתן על ידי ועדת היתרים שימנה שר הפנים. חוק מניעת זיהום מקומות יבשתיים (תשמ"ח, 1988) אוסר על הטלת והזרמת פסולת ושפכים ממקור יבשתי במטרה לסלקם בים, אלא בהיתר מוועדה שימנה שר הפנים.
- **דיג** – פקודת הנמלים (תשל"א, 1971) מחייבת השגת רישיון ממנהל הנמל על פי פקודת הדיג 1937 – רישיון דיג יינתן על ידי שר החקלאות לאדם או לספינה.
- **צלילה** – חוק הצלילה הספורטיבית (תשל"ט, 1979) קובע כי שר החינוך רשאי, באישור ועדת החינוך, להכריז על איזור כאסור לצלילה.
- **שיטור** – משטרת ישראל משמשת כיום כמשמר החופים בשיתוף פעולה עם חיל הים.

- **שטחי אימונים** – מפקד חיל הים מוסמך לסגור שטחי אש, בצורה זמנית או קבועה, מכוח תקנות ההגנה (שעת חירום) 1945 אך רק בתחום המים הטריטוריאליים.
- **נמלים** – פקודת הנמלים (תשל"א 1971) קובעת כי שר התחבורה מוסמך להכריז על נמל. ניהול הנמלים יהיה בידי הממונה על הנמלים.
- **בעלות הקרקע** – מנהל מקרקעי ישראל
- אישור תוכניות על ידי מוסדות התכנון על פי חוק התכנון והבנייה.

מעמד משפטי

- המעמד המשפטי של קרקע בים הסמוכה לחופים מעוגן במספר חוקים:
- **חוק המקרקעין** – על פי חוק המקרקעין (תשכ"ט, 1969), סעיף 108, "מקרקעין הנמצאים מתחת למימי החופים של ישראל ומקרקעין הנמצאים מתחת למימי האגמים בישראל הם של המדינה ונמנים עם מקרקעי הציבור".
 - **חוק השטחים התת-ימיים** – על פי חוק השטחים התת-ימיים (תשי"ג, 1953), סעיף 1(א): שטח מדינת ישראל כולל את קרקע הים ותת-הקרקע של השטחים התת-ימיים הסמוכים לחופי ישראל. ניתן לנצל את הקרקע ואוצרות הטבע בשטחים אלה, ובלבד שלא יפגעו באופיים של המים שמעל לשטחים ושמוחץ למים הטריטוריאליים של ישראל.
 - **חוק מימי החופים** – עפ"י חוק מימי חופים (תשי"ז, 1956), סעיף 1(א) מדובר ב- "12 מיילים ימיים".

עקרונית, היות והמקרקעין הינם בבעלות המדינה וחלק ממקרקעי ישראל, הם נתונים לניהול של מנהל מקרקעי ישראל. בחינת ההיבטים המשפטיים של פרויקט האיים המלאכותיים מקיפה תחומים רבים. אנסה לדון בחלק מהם:

הדין הבינלאומי: במסגרתו נבחנים הסדרים הבינלאומיים, אשר עשויה להיות להם השלכה על ביצוע הפרויקט בתחום מימי החופים של מדינת ישראל. הסדרים בינלאומיים בענייננו נחלקים בין הסדרים בעלי אופי הסכמי (אמנות בינלאומיות בתחום משפט הים בעניינים שונים, ובהם התקנת איים בים, ניצול אוצרות טבע ושמירת איכות הסביבה), לבין הסדרים הנכללים במשפט הבינלאומי המונהג (כדוגמת הקביעה המנהגית של נתיבי השייט בים).

זיקות קניין של הפרויקט: במסגרתן נבחנות הזכויות הקנייניות הקיימות באזור המתוכנן להקמת הפרויקט, בכלל זה שאלת הבעלות במימי החופים ומיפוי מכלול הזכויות, הזיכויות והרישיונות האחרים הקיימים באזור (לרבות: חוק הנפט, חוק הגנים הלאומיים, חוק העתיקות, חוק הדייג וכדומה, כמו כן זיקות קניין שנוצרו מכוח הסדרים מנהגיים שונים).

הליכי תכנון: במסגרתם נבחן המצב התכנוני של האזור המתוכנן ואף ההליך התכנוני הנדרש לפרויקט. הפרוצדורה התכנונית הקיימת מספיקה להשלמת תכנון הפרויקט. הסוגיה היחידה בה קיימת התלבטות היא הגדרת הרשות התכנונית המקומית והמחוזית הרלוונטית לתכנון הפרויקט, שכן גבולותיה חורגים מתחומי רשויות התכנון הקיימות. על פי הוראת סעיף 156(א) לחוק מימי החופין, כל תכנית החלה, ולו בחלקה, בתחום מי החופין של ישראל, צריכה לקבל את אישורה של הוועדה למי החופין, וזאת לפני שניתן יהיה לתת היתר בנייה כלשהו על פיה. פעולת הוועדה למי חופין מוסדרת בתוספת השנייה לחוק, ומתן אישורה לתכנית נדרש בנוסף לכל יתר שלבי התכנון הרגיל, ולא במקומם.

דין מוניציפלי: הדיון מתחייב בשל מיקום האיים מול חופי רשויות מוניציפליות שונות. על רקע זה יש לבחון: האם האי הופך להיות חלק מהמרקם העירוני של הרשות המקומית אשר מול חופיה הוא ממוקם? ומה ההשלכות שיש לחיבור האי לחוף מהזווית המוניציפלית, או שמא רצוי להקים רשות מוניציפלית נפרדת לאיים המלאכותיים?

איכות הסביבה: יש לבחון אספקטים שונים של הדין המקומי, לרבות החובה להכין תסקיר השפעה על הסביבה. כלי עזר תכנוני זה הינו מן הכלים החשובים ביותר העומדים לרשות מוסדות התכנון, כדי שיוכלו להימנע, עד כמה שאפשר, מקבלת החלטות שישפיעו באופן שלילי על הסביבה. כלי זה נועד לספק מידע מקיף על השפעותיה הצפויות של התכנית על הסביבה, ולפרט את האמצעים הנדרשים לשם מניעת או צמצום ההשפעות השליליות שלה.

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'. נראה שזוהי גם המדיניות הראויה לגבי פרויקט כמו האיים המלאכותיים, אותו יש לתכנן ולהקים במסגרת ההסדרים הנורמטיביים הקיימים, המבטיחים מעורבות פעילה של הציבור כיאה לפרויקטים מסדר גודל כזה. רק במקום בו אין בתשתית החקיקתית הקיימת מענה ספציפי לבעיות מיוחדות שיתעוררו במסגרת הפרויקט – יש לבצע חקיקה נקודתית, כדוגמת הסדרי ההפקעה המיוחדים שנקבעו בעניין כביש חוצה ישראל, או הסדרי כביש האגרה שנעשו בחקיקה לצורך כביש חוצה ישראל, מנהרות הכרמל והנתיב המהיר לת"א.

המכרז המקובל לפרויקטים בסדר גודל כזה הוא מכרז BOT (Build, Operate, Transfer), שבו המזמין אינו משלם למבצע עבור ביצוע הפרויקט, אלא התמורה ניתנת לו בזכות (בזיכיון) להפעיל את הפרויקט במשך תקופה מוגדרת והיזם/המבצע/המפעיל דואג להשגת המימון הבנקאי הדרוש.

יתרונו של מכרז כזה טמון בעובדה שהוא מטיל על היזם/המבצע את עלויות ההקמה וההפעלה (לעיתים גם התכנון) של הפרויקט, המותנה גם בהסכם ליווי בנקאי מתאים, המשלב לעיתים גם שלב של משא ומתן סופי עם הזוכה. מדובר בתהליך ארוך, שעלותו בפרויקט זה יקרה מאוד, הן למזמין והן למציעים.

כיום הזכויות הקנייניות באזור שייכות למנהל מקרקעי ישראל, אשר כפועל יוצא מבעלותו במקרקעי הים הוא גם הבעלים של כל מה שמעליהם, לרבות המים וכלל הרום, וזאת לפי דיני המקרקעין. לפיכך, מנהל מקרקעי ישראל הוא גם הגוף שלכאורה אמור לטפל במכרזים לפרויקט. אולם מאחר ומדובר במכרזים מורכבים ביותר, שהכנתם או הוצאתם לפועל דורשת מומחיות מיוחדת בתחומים הרלוונטיים ושיתוף של גורמים ממשלתיים רבים נוספים, נראה כי עדיף יהיה להקים חברה או רשות ממשלתית מפקחת מיוחדת לצורך זה (כמו חברת כביש חוצה ישראל). מכל מקום, ההחלטה מי ירכז את הטיפול במכלול כולו היא החלטה שהממשלה צריכה לתת עליה את הדעת.

פרק שביעי: היבטים מדיניים – הסכסוך הישראלי פלסטיני

כמו בימי קדם, גם בימינו אדמותיו הצחיחות של המזרח התיכון הן זירה לסכסוכים מרים. הסכסוך הממושך ביותר והמשמעותי והמשפיע ביותר הוא הסכסוך הישראלי פלסטיני. היו תקופות בהן נראה היה כי ניתן להגיע להסדר בין הפלסטינים וישראל, אולם פעם אחר פעם התנפצה התקווה בגלי אלימות שזעזעו את האזור ואת העולם כולו.

במשך יותר ממאה שנה נלחמות הצינונות והתנועה הלאומית הפלסטינית זו בזו. בעוד שעם שכנותיה מצרים וירדן הצליחה ישראל לחתום על הסכמי שלום, הרי שכל הניסיונות להגיע להסכם עם הפלסטינים בשיחות שנערכו בשנות ה-90 בוועידת מדריד, בוועידת אוסלו, בקמפ דויד 2 ובוועידת שארם – נכשלו. בין הישראלים והפלסטינים מתגלעות שלוש מחלוקות עיקריות:

- סוגיית הגבולות, המחלוקת הטריטוריאלית.
- בעיית הפליטים וזכות השיבה.
- ירושלים, המחלוקת על הריבונות בירושלים המזרחית.

נושא האיים המלאכותיים יכול להיות, למרות הקשיים הרבים הצפויים בדרך ליישום, פתרון לשתי הסוגיות הראשונות שהוזכרו לעיל: לבעיה של צפיפות האוכלוסייה ברצועת עזה ופתרון למחלוקת הטריטוריאלית רבת השנים בין ישראל לפלסטינים.

נכון ל-2010 ברצועת עזה חיים כ-1,517,000 תושבים, והתחזית לשנת 2015 היא של גידול האוכלוסייה ל-1,880,000 תושבים. ב-2025 צפויה האוכלוסייה להגיע ל-2,563,000 תושבים (ביסטרוב וסופר 2010).

ההשלכות הקשות לגידול מהיר כל כך של האוכלוסייה ינבעו בעיקר כתוצאה ממשבר כושר הנשיאה הדמוגרפי ברצועת עזה, שיכלול אבטלה מונית (עוני ופגיעה בכלכלה), דרישה למזון, קריסת תשתיות, צפיפות יתר ואי יכולת לספק שירותי תברואה והתחזקות הדת כאמצעי מפלט מקשיי היום-יום. ההשלכות של משבר כושר הנשיאה הדמוגרפי ברשות הפלסטינית מציב את יציבות המשטר והאזור בסכנה. הכלי העיקרי לשיפור כושר הנשיאה הדמוגרפי הוא שיפור הכלכלה, וכן, שיפור רמת החיים של התושבים הפלסטינים, דבר אשר יסייע בהקטנת הכדאיות לעימות, עידוד המתנות, ובניית אמון בין מדינת ישראל לרשות הפלסטינית.

אחד הרעיונות שהעלה הד"ר יוסי ביילין, ולאחר מכן הנשיא קלינטון בשיחות שהתקיימו בטאבה ב-2001, היה למסור לפלסטינים שטח סמוך לרצועת עזה (באזור חולות חלוצה) ובתמורה לכך ישראל תשאיר בריבונותה אזורים ביהודה ושומרון הכוללים את גושי ההתיישבות היהודית, וכן

מספר שכונות יהודיות במזרח ירושלים. פתרון כזה יכול היה לתת מענה לגידול האוכלוסייה המהיר הצפוי ברצועה, כפי שתואר לעיל, וכן מענה לאוכלוסייה פלסטינית שתחזור לשטחי הרצועה במסגרת זכות השיבה. יש לציין ששני הצדדים לא אהבו את הרעיון והתנגדו לו נמרצות.

הרעיון שעומד בבסיס הקמת האיים המלאכותיים מול רצועת עזה הוא ניסיון לשבור את הנחת היסוד (אבן, גרטנר וקהת 2003), שלפיה מחלוקת טריטוריאלית חייבת להיפתר על חשבון אחד הצדדים. רווח פלסטיני משמעו הפסד ישראלי, ולהיפך, דהיינו משחק סכום אפס. רעיון דומה יכול להיות ממומש גם בנושא המים. כיום, כשטכנולוגיית התפלת מים התקדמה מאוד והפכה זמינה, מחלוקת זו הופכת להיות מחלוקת כלכלית בלבד.

כל הבדיקות, הניתוחים והמגבלות, שנידונו בעבודה זו, רלוונטיים כמעט במלואם גם לרצועת עזה, כלומר השיטות הטכנולוגיות, מאפייני החוף, היבטים סביבתיים וכו', למעט כמובן ערך הקרקע. התחשיבים שנעשו מראים על כדאיות כלכלית אל מול מחיר הקרקע האלטרנטיבי באזור תל אביב לדוגמא. אבל אין היא כדאית ביחס למחיר האדמה ברצועת עזה, ואין לבחון זאת בראייה כלכלית בלבד, אלא במונחים של קרקע במחלוקת בין מדינות, וכן במונחים של תועלת לפתרון הסדר קבע בין ישראל לפלסטינים.

הקמת איים מלאכותיים תיצור קרקע חדשה, שאינה במחלוקת, ותמורתה יוותרו הפלסטינים על שטח גושי ההתיישבות ביהודה ושומרון. הקרקע החדשה שיקבלו הפלסטינים תוכל לסייע במימוש זכות השיבה. כמו כן, זוהי הזדמנות לשיתוף פעולה בין ישראל לפלסטינים. האיים יוכלו לספק תעסוקה בתחומי התיירות, המסחר והשירותים, ואפשר לקיים בהם אזור סחר חופשי. בהנחה שישררו בסביבה תנאי שלום, יכולים איים אלה להיות בסיס לריביירה מזרח תיכונית ואטרקציה תיירותית בדומה לאיים המלאכותיים שהוקמו בדובאי, המהווים מוקד משיכה למיליוני תיירים מהעולם.

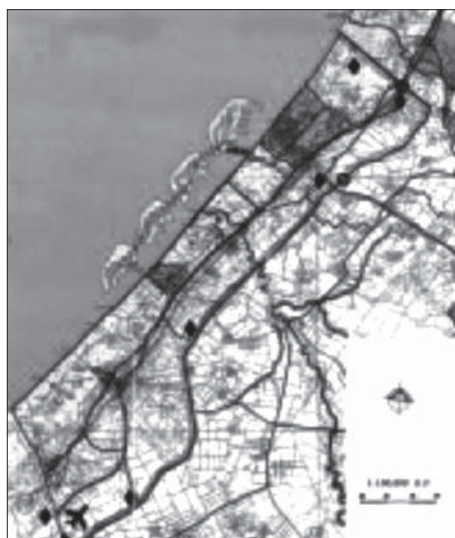
מימון הפרויקט – כפי שראינו בפרקים הקודמים הקמת אי מלאכותי הוא פרויקט מורכב ביותר ועתיר משאבים, עלותו של אי בגודל של כ-2,000 דונם יכולה להגיע ל-1-3 מיליארד דולר, תלוי במאפייני האי, מיקומו בים ועוד. כמובן שאין ביכולתה של הרשות להקים פרויקט בסדר גודל כזה, והדרך היא לרתום את הקהילה הבינלאומית שתוכל לממן חלק מהעלות ולהשתתף בבניית המיזם באמצעות חברות בינלאומיות. ניתן, כמובן, להיעזר בהלוואות ממדינות שונות, ואת החזר ההלוואות (לפחות חלקן) לממן באמצעות מכירת הקרקעות ליזמים השונים.

מתן מימון באמצעות העברת נכסי תשתית הוא תמיד המנגנון המועדף של המדינות התורמות לרשות הפלסטינית, לעומת העברת כספים ישירה, שהניסיון מלמד כי בשל בעיות שחיתות וחוסר יעילות

במנגנוני השלטון הפלסטיניים, לא תמיד מגיעות ליעדם ולצורך להן נתרמו. לתרומה כזו יש ערך כלכלי וחברתי שיותר את רישומו למשך שנים רבות, ככל הנראה יותר מכל פרויקט תשתיתי אחר.

חשוב לציין גם את הצד שכנגד. פתרון שכזה יכול לעורר התנגדות בצד הפלסטיני, יכולה לעלות הטענה כי איים מלאכותיים אלו ממוקמים ממילא בתחום המים הטריטוריאליים של עזה, ואין בהם תחליף לטריטוריה בתחומי הקו הירוק. ייתכן ופתרון זה לא ייתן מענה פוליטי לפלסטינים הרואים חשיבות סמלית בנסיגת ישראל לקווי 48'. טענה נוספת שיכולה לעלות על ידי הפלסטינים היא כי בהון הנדרש להקמת איים מלאכותיים אפשר לממן פרויקטים חשובים ודחופים יותר עבור המדינה הפלסטינית העתידית.

כיצד יכול להיראות הפרויקט? מול חופי עזה ניתן להקים שרשרת של מספר איים מלאכותיים, הקשורים ביניהם וקשורים לחוף. (איור 41), האיים יכולים לשמש למגורים. על פי ההערכות בכל קמ"ר של אי ניתן לאכלס כ-40,000 נפש בצורה מרווחת עם כל הדרוש לרווחת הקיום של אוכלוסייה עירונית, כך שבמידה ויקומו 4 איים של 2,000 דונם כל אחד, ניתן יהיה לספק מגורים לסדר גודל של מעל 300,000 נפש (חמישית מכלל האוכלוסייה כיום). כמו כן ניתן לפתח באיים תשתיות מסחר, שירותים, תירות ועוד. אפשר גם להקים באחד האיים מתקנים שאינם למגורים, כמו שדה תעופה, תחנות כוח, נמל ימי, מתקני התפלת מים, ובכך לפנות שטחים על האדמה היכולים לשמש לאזורי מגורים.



איור 41: הצעה למיקום שרשרת איים מול חופי עזה

חשוב שבאיים יאוכלסו תושבים ברמה סוציו-אקונומית מגוונת, כולל אזורי יוקרה, מאחר ואם יאוכלסו האיים אוכלוסייה ענייה בלבד, פרויקט כזה עלול להפוך לכישלון.

ישראל חייבת להיות מעורבת בפרויקט כזה החל משלבי התכנון הראשונים בשל המשמעויות הסביבתיות שפרויקט כזה יכול להשפיע על החוף בישראל. כפי שסקרנו בפרקים הקודמים, הקמת איים מלאכותיים יכולה לשבש את מנגנון הסעת החולות המזין את חופי ישראל. כאמור המקור לחולות הינו בדלתה של הנילוס, ומבנה ימי שיוקם מול רצועת עזה יכול לפגוע בצורה משמעותית בהסעת החולות צפונה, מאחר וזו תחילת מסלול ההסעה.

ניתן, כמובן, לתת מענה לסוגיות אלו על ידי בניית האיים במרחק גדול יותר מקו החוף. כמו כן, ביצוע עבודות תחזוקה שוטפות, הכוללות הסעה מאולצת של חולות באמצעים טכנולוגיים הקיימים היום (אוניות מחפר), כפי שנסקרו בעבודה זו בפרקים הקודמים. מעורבות בינלאומית בפרויקט מסוג זה מבטיחה תשומת לב מיוחדת להיבטים הסביבתיים.

לסיכום, ניתן לראות את נושא בניית האיים המלאכותיים מול חופי עזה כחלק מתפיסה אסטרטגית הרואה את מקורות הקרקע בים כאחד הפתרונות למחסור בקרקע ביבשה ולבעיית צפיפות האוכלוסייה ברצועת עזה. העיקרון המנחה הוא התועלת המדינית לפתרון הסדר הקבע בין ישראל לפלסטינים, ופתרון המחלוקת הטריטוריאלית רבת השנים. מערך של איים מלאכותיים מול חוף רצועת עזה יכול להיות שטח אטרקטיבי מבחינה כלכלית, ויכול לתרום לשיפור כלכלי משמעותי ברצועה. ניתוח ההשפעות שיתחוללו משיפור כלכלי של הרשות הפלסטינית מראה שיש הלימה בין השיפור הכלכלי של הרשות ובין הביטחון הלאומי של מדינת ישראל. האילוצים בתחום המדיני והמימוני הם המשמעותיים ביותר, אולם אם הרשות הפלסטינית תבין שזה המקסימום שיראל תוכל לתת ולא ניתן יהיה לקבל תמורות עדיפות יותר מישראל, ולקהילה הבינלאומית יובטח שפרויקט זה יתרום משמעותית להסדר קבע בין ישראל לפלסטינים, יש לפרויקט זה סיכוי להצלחה.

פרק שמיני: סיכום

בעבודה זו ניסיתי לתת מענה לשאלות האם איים מלאכותיים ותוספת הקרקע שהם מקנים, מהווים תרומה משמעותית למדינת ישראל.

במסגרת העבודה בחנתי את כלל השיקולים והנתונים לאור ההתפתחויות הדמוגרפיות והכלכליות של מדינת ישראל, החל בצורך שהוא ברור וחד, הצפיפות ההולכת וגדלה במישור החוף ומצוקת הקרקע הן למגורים והן לתשתיות, דרך השיטות הטכנולוגיות המיושמות בעולם ושיטות חדשניות הנמצאות בפיתוח. כמו כן בחנה העבודה את ההיבטים המיוחדים של החוף בישראל, נושא הסעת החולות, שמירת הסביבה והנוף, איכות החיים לאורך מישור החוף, ההיבטים הכלכליים של עלויות הקמת איים מלאכותיים וההיבטים המשפטיים של פרויקט זה.

במותניה הצרות וצפופות האוכלוסין של ישראל אין עתודות קרקע לצרכים ההולכים וגדלים. לפיכך לא תהיה לישראל ברירה אלא "לפלוש" לים כדוגמת הולנד, יפן וסינגפור.

מתוך פרקי העבודה שתוארו לעיל, אני מגיע למסקנה ברורה כי קיימת היתכנות להקמת אי מלאכותי מול חופי ישראל מכל הבחינות: הסביבתית, הטכנולוגית, כדאיות כלכלית, משפטית, ובעיקר לשימושים המטילים מגבלות על סביבתם, כגון מתקני תשתית (גז, דלקים, התפלת מים, תחנות כוח ועוד).

אין פירוש הדבר כי הדבר בידינו. לכן נדרשת עוד עבודה רבה, החלטה על הקמת איים מלאכותיים מחייבת תכנון לטווח ארוך, הן של עתודות הקרקע הקיימות והן של התכנון בסביבה הימית. נדרש מחקר מעמיק של בחירת מיקום האי על מנת להקטין את ההשפעות הסביבתיות שאי כזה עלול לגרום וכן לקחת בחשבון פעולות תחזוקה שמטרתן לשמר את אופי וטיב החוף הישראלי, למניעת נזקים לחופים, למדף היבשת ולגוף המים.

נושא נוסף שיש להעמיק בו הוא בחירת התשתית שרוצים להקים על האי, שבהכרח תוביל לבחירת הטכנולוגיה של האי עצמו (אי צף, אי בשיטת מילוי וכו'). בשלב זה הערכתי היא כי בשל התנופה הגדולה של נושא הגז הטבעי בישראל והקושי במציאת פתרונות לתחנות קליטה בחופי הארץ בשל התנגדות התושבים בכל האזורים, זוהי פלטפורמה נכונה להוביל את נושא האיים המלאכותיים.

לשמחתי הרבה נושא האיים המלאכותיים קיבל תנופה מחודשת בימים אלה על ידי ממשלת ישראל, שאמורה לקבל החלטה בימים אלה על הקמת צוות בדיקה להיתכנות הקמת אי מלאכותי לתשתיות, בדיקה שמתוכננת להתבצע בתקופה של שנה ובסופה אמורה להתקבל החלטה על הקמת אי מלאכותי ראשון בישראל.

מקורות

- אבן, ש', ש' גרטנר וד' קהת. 2003. רעיון להקמת איים מלאכותיים מול חופי עזה. *עדכן אסטרטגי*, כרך 5(4), 25-22.
- בורט, מ' 1997. תפיסות וטכנולוגיות חדשניות בפיתוח איים מלאכותיים – "ידידותיים לסביבה" מול חופי מדינת ישראל. *מהנדסים, אדריכלים וטכנולוגים*, ספטמבר, 32-37.
- בורט, מ' 2010. האופציה הימית לישראל: חזון השדרה הכחולה. *גלילאו*, 139, 32-40.
- בייט, מ' 1999. איים מלאכותיים מול חופי ישראל. *קרקע*, 46.
- ביסטרוב, י' וא' סופר. 2010. *ישראל דמוגרפיה 2010-2030: בדרך למדינה דתית*. קתדרת חייקין לגאואסטרטגיה, אוניברסיטת חיפה.
- בן-גוריון, ד' 1932. *לקראת הים*.
- הוועדה הציבורית לבחינת תכנית אב לשדות תעופה בישראל. 2009. דוח מסכם. מוגש לסגן ראש הממשלה ושר התחבורה והבטיחות בדרכים שאול מופז.
- הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה. 2011. *שנתון סטטיסטי לישראל שנת 2011*.
- המשרד להגנת הסביבה, אגף מדיניות סביבתית. 2010. *התמוטטות המצוק בחופי ישראל, דרכים להתמודדות, והמשמעויות הכלכליות, הציבוריות והסביבתיות*. מסמך מדיניות, מדינת ישראל.
- הרשמן, ד' 2007. שער יפני והקשבה לטבע. *מסע אחד*, גיליון 66.
- לרמן אדריכלים ומתכנני ערים בע"מ. 1998. *פיתוח במימי חופין – איים בים במטרופולין תל אביב – סקר היתכנות מוקדם*. תל-אביב.
- משרד הפנים, מנהל התכנון, הועדה למימי חופין. 1999. *מימי החופין של ישראל, מסמך מדיניות*. מדינת ישראל.
- משרד הפנים, מנהל התכנון. 2007. *מסמך מדיניות לאיים מלאכותיים לתשתיות*. דוח מסכם, מדינת ישראל.
- משרד התשתיות הלאומיות. 2000. *איים מלאכותיים נוכח חופי ישראל, בדיקת קדם היתכנות, דוח סופי*. ועדת היגוי המשותפת הולנדית ישראלית, מדינת ישראל: משרד התשתיות הלאומיות, אגף תכנון ופיתוח.
- ניר, י' 2005. איים מלאכותיים מול חופי ישראל: חלום מתוק או חלום בלהות? *קרקע*, 60, 118-130.
- ניר, י', י' דורי וא' בן-ארי. 2001. *איים מלאכותיים מול חופי ישראל, היבטים סביבתיים, תכנוניים ומשפטיים*. תל אביב: אדם טבע ודין, אגודה ישראלית להגנת הסביבה.
- סגל, ק' 2003. המהפכה בתכנון האיים המלאכותיים. *הכנס הארצי השלישי לבנייה ולתשתיות*.

צימלס, ג' ג' שלף וא' בעז. 1996. *איים מלאכותיים נוכח חופי ישראל*. האיגוד הישראלי להנדסה ולמדעי המחצבים.

קרן, ע' וא' שטרן. 1999. *איים מלאכותיים בחופי ישראל*. תל אביב: אוניברסיטת תל-אביב, הפקולטה לחברה, התכנית לשמאות ומקרקעין.

רוזן, ד' 2000. *אומדן ההשפעות הסביבתיות הצפויות עקב בניית איים מלאכותיים במימי החופין של ישראל בים התיכון באזור המרכז – התייחסות לתוצאות החקירה במודלים הסדימנטולוגיים*. דוח סדימנטולוגי סופי, דוח חיא"ל מספר 03/2000H, חיפה: חקר ימים ואגמים לישראל.

שאשא, ש' 1995. *איים מלאכותיים בחופי ישראל*. צה"ל: המכללה לביטחון לאומי.

שליין, ל' 1999. *האי שאפשה ביטאון חיל האוויר*, גיליון 125.

שלף, ג' ו' צימלס. 1996. *הקמת איים מלאכותיים בחופי ישראל תוך שימוש באפר פחם*. חיפה: הטכניון.

Hirosihi, S. 2002. *Mega-Float – Results of Phase – 2 Research*, Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co, Tokyo, Japan.

IPCC. 2007. *Climate Change: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

Population Reference Bureau 2012. *The 2012 World Population Data Sheet*.

<http://www.prb.org/Publications/Datasheets/2012/world-population-data-sheet.aspx>

נספח א'



בדיקת היתכנות להקמת אי מלאכותי לצרכי תשתיות לקליטת גז טבעי
הצעה להחלטה

מחליטים:

1. לקדם ביצוע בדיקת היתכנות להקמת אי מלאכותי לצרכי תשתיות, וזאת לנוכח נוכח הצורך הדחוף לתכנן ולבצע בהקדם האפשרי מספר מתקני תשתית לקליטת גז טבעי מתגליות בים ולייבוא גז טבעי,
2. להקים צוות היגוי לבחינת היתכנות של ביצוע אי מלאכותי לצרכי תשתיות כדלקמן:
 - מנכ"ל משרד המדע והטכנולוגיה (יור"ר).
 - נציג מנכ"ל משרד ראש הממשלה.
 - נציג ראש הממשלה.
 - נציג משרד האנרגיה והמים.
 - נציג אגף התקציבים במשרד האוצר.
 - נציג מינהל התכנון במשרד הפנים.
 - נציג המשרד להגנת הסביבה.
3. הבדיקה האמורה תבצע במקביל ובתאום מלא עם המועצה הארצית לתכנון ולבנייה בעבודתה לאישור אתרים ימיים להקמת מתקנים לקליטה ולטיפול בגז טבעי מתגליות בים (תמ"א 37 ח').
4. הצוות יסיים עבודתו ויגיש המלצותיו לראש הממשלה בתוך שנה.
5. לצורך ביצוע בדיקת ההיתכנות יוקצה סכום של עד 5 מיליון ₪ ממקורות שיתואמו ע"י מנכ"ל משרד המדע והטכנולוגיה והממונה על התקציבים באוצר.

דברי הסבר

רקע כללי

בעקבות תגליות משמעותיות של גז טבעי במים הכלכליים של ישראל, מתקיים תהליך מהיר של הסבת משק האנרגיה של ישראל לצריכת גז טבעי כמקור אנרגיה מרכזי. קיים צורך דחוף לתכנן

ולבצע בהקדם האפשרי מתקני תשתית לקליטת הגז מהתגליות, לטיפול בגז ולהעברתו למערכת ההולכה הארצית. המועצה הארצית לתכנון ולבנייה מקדמת תכנית לאיתור מספר אתרים ימיים להקמת מתקני תשתית לקליטה ולטיפול בגז. בנוסף, קיים צורך לאפשר מתקן לקליטת גז טבעי נוזלי (LNG) ולאכסונו, במגמה לאפשר נתיב נוסף לקליטת גז טבעי למערכת וליצירת עתודה אסטרטגית למצבי חירום.

אי מלאכותי לתשתיות יכלול לפחות את היכולות הבאות:

1. שני מתקנים נפרדים שכל אחד מהם מאפשר טיפול בגז טבעי מתגליות. הקמת שני מתקנים נפרדים יאפשרו לשתי חברות להשתמש במתקנים במגמה לאפשר תחרות בשוק הגז.
 2. מיכלים תת-קרקעיים לאכסון גז טבעי נוזלי. הקמת יכולת אכסון גז מאפשר יתירות המערכת, בנוסף לתוואי אפשרי נוסף לרכישת גז טבעי ולאספקתו לצרכנים במשק.
 3. מתקן לקשירת אוניה לקליטת גז טבעי נוזלי. מתקן הקשירה יחליף את המצוף הזמני אשר מוקם בימים אלה בים מול חדרה.
 4. מתקן גזז והעברת גז טבעי למערכת ההולכה הארצית. התמרת הגז הטבעי הנוזלי ממצב נוזל למצב גזי מחייב מתקנים מיוחדים.
 5. סדנאות אחזקה ומגורי עובדים. סדנאות בסיסיות לאחזקה קלה ומגורי עובדים.
- בשל מורכבות הפרויקט מוצע להקים צוות מקצועי, בשיתוף עם המשרדים הרלוונטיים, אשר יהיה אחראי לבדיקת היתכנות הפרויקט והתנעתו.
- הבדיקה האמורה תתבצע במקביל ובתאום מלא עם המועצה הארצית לתכנון ולבנייה בעבודתה לאישור אתרים ימיים להקמת מתקנים לקליטה ולטיפול בגז טבעי מתגליות בים (תמ"א 37 ח').
- עמדת משרדים אחרים שההצעה נוגעת לתחום סמכותם** – ההצעה מתואמת עם משרד האנרגיה והמים ועם משרד הפנים.
- עמדת היועץ המשפטי של המשרד יוזם ההצעה** – היועץ המשפטי של משרד המדע מאשר כי אין מניעה משפטית לקבל החלטה זו.

מוגש על ידי ראש הממשלה ושר המדע והטכנולוגיה

במותניה הצרות והצפופות של ישראל אין עתודות קרקע נוספות לכל הצרכים הגדלים והולכים ולפיכך לא תהיה לישראל ברירה אלא "לפלוש" אל הים כדוגמת הולנד, יפן או סינגפור. על הצורך ביציאה אל הים כותב בן גוריון כבר בשנת 1932 "מבחינה יישובית, כלכלית ופוליטית יש לראות בים התיכון לא את גבולה אלא את המשכה של ארצנו."

שמואל וייס, מהנדס במקצועו, עובד הוועדה לאנרגיה אטומית ובוגר המכללה לביטחון לאומי אותה סיים בשנת 2012. זכה בפרס המכללה על עבודתו השנתית: "איים מלאכותיים בחופי ישראל-אבן דרך בהתפתחות מדינת ישראל", שעיבודה ועידכונה מופיעים במסמך שלפנינו.

