



כריית חול ימי והשפעתה על מערכות אקולוגיות ועל הסביבה החופית



מסמך רקע

נובמבר 2013





רקע

הפעילות הימית המוגברת בחופי ישראל בשנים האחרונות (תעשיית גז ונפט, התפלה, הקמת תשתיות שונות וכדומה) מהווה איום על הסביבה הימית.

שמירה על הסביבה ועל מערכות אקולוגיות מורכבות דורשת ידע מדעי נרחב ומדויק, אולם קיומו של גוף ידע זה באקדמיה בלבד אינו מספיק לקבלת החלטות מדיניות מושכלות. מצד אחד, יש צורך שמדענים, בעלי הידע, יהיו מעוניינים ומסוגלים להעביר אותו למקבלי ההחלטות בצורה ברורה. מצד שני, קובעי המדיניות, כלומר הרגולטור, אמורים לקבל את כל המידע שהם זקוקים לו, להבין ולהפנים אותו בתוך מערכת קבלת ההחלטות. כיום שני קצוות אלה – המשתמש שהוא קובע המדיניות והמדען שהוא בעל הידע – אינם מצליחים לקיים את המערכת הזו וליצור מדיניות מבוססת מדע.

האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה מאגדת את אנשי האקדמיה והמקצוע בתחומה. מטרתה העיקרית היא להציע מדע רלוונטי ועדכני למקבלי ההחלטות, והיא רואה זאת כחלק מתפקידם של החברה האזרחית ושל אנשי האקדמיה.

כדי להתמודד עם אתגר רב ממדים זה של שמירת הסביבה הימית ושל חיבור בין מדענים לקובעי מדיניות, החליטה האגודה להקים ועדות מומחים שיטפלו בסוגיות ספציפיות ויעזרו לרגולטור לקדם מדיניות מתאימה מבוססת מדע. ועדות אלה יפעלו באמצעות קידום שיתוף פעולה בין האקדמיה, מכוני המחקר הממשלתיים ואנשי המקצוע במשרדי הממשלה. לאגודה ניסיון רב שנים של יצירת שיתוף פעולה בין הרגולטור ובין מדענים למתן מענה מדעי לשאלות מדיניות שעל הפרק.

הסוגיה הנדונה במסמך זה היא סוגיית ההשפעות הסביבתיות של כריית חול ימי.

תודות:

אנו מודים לאינג' ס' דב רוזן על הערות מהותיות וחשובות למסמך זה

עורך: ד"ר ערן ברוקוביץ'

כותבים: ד"ר ערן ברוקוביץ', ענת צמל

תמונת שער על ידי (CC) latitudes-flickr, Aeroview-Rotterdam





תוכן עניינים:

4	חול כחומר בניה
4	רקע ושימושים עיקריים.
4	נתוני צריכה ומקורות אספקה
5	מאזן בין ביקוש להיצע
7	מקורות חול וכמויות
8	חול בלתי מלוכד
9	כורכר
15	השפעות כריית החול על בית הגידול הימי
15	השפעות מיידיות של עבודת הכרייה
15	פגיעה פיזית בבעלי חיים
15	זיהום רעש
16	פגיעה בפאונה שעל הקרקעית ובתוכה
19	הגברת עכירות המים וסדימנטציה (הרבדה) במי הים
25	השפעה על הפלנקטון
26	פגיעה באיכות הכימית של מי הים
26	זיהום מימי החוף
27	פוטנציאל ליצירת נזק לצינור גז או נפט ויצירת זיהום
28	השפעה על בית הגידול של הקרקעית החולית
31	שינויים במאפייני המצע
32	יצירת שקעים ובורות כתוצאה מהכרייה
33	פוטנציאל נזק משינוי או הריסת בתי גידול חיוניים לדגים
33	קונפליקטים בזמן ובמרחב עם פעילות דיג באזור
35	פוטנציאל שיקום המערכות האקולוגיות
38	השפעה ארוכת טווח על הסביבה הפיזית
39	שינויים בגובה הגלים
40	שינויים בהסעת סדימנט לאורך החוף
41	האצת הבלייה של קו החוף (ארוזיה)
43	מקרה בוחן מגרמניה
45	הגברה של הבלייה החופית
48	השפעות עקיפות על האקולוגיה של החוף
51	השפעות ישירות ועקיפות באתרים ארכיאולוגיים
52	השפעות נופיות / תכנוניות
53	שיטות כרייה "ידידותיות" ופתרונות להשפעות סביבתיות
53	ציד מפחית הרחפת סדימנטים
55	מניעת פגיעה בצבי ים
55	אזורים לא מופרים בשוליים
55	הגנה על אזורים רגישים
56	עומק החפירה
56	תקנים
56	המלצות מהעולם
57	המלצות מהעולם לצמצום ההשפעה על הסביבה ועל אתרי מורשת
57	אפיון אתר הכרייה לפני תחילת העבודות



חול כחומר בניה

רקע ושימושים עיקריים¹.

החול הוא חומר גלם בסיסי הדרוש לענף הבנייה והסלילה והיקף צריכתו מהווה כ-15% מכלל צריכה חומרי הכרייה והחציבה. חול משמש בעיקר (80%) כחומר גלם לענף הבניה לצורך הכנת תערובות בטון, טיח, טיט וכמצע לריצוף. כמו כן, כ-20% מהחול דרוש לצורך דיפון בעבודות תשתית והנחת צנרת. שימוש נפוץ נוסף של החול הימי מיועד לצורך שיקום החופים, כדי להתגבר על בעיית בלייתם². החול מצוי במישור החוף, כאשר הוא חשוף במרחבים בין פרדס חנה לחדרה, בין ראשון לציון לחולות יבנה ואשדוד ובין אשדוד לאשקלון. אזורים אלה הינם בעלי ערכיות סביבתית וחברתית גבוהה ולכן כבר בתחילת שנות ה-2000, הופסקה הכרייה בהם, ונעשית רק במסגרת עבודות פיתוח והכשרת קרקע. בנגב קיימים מקורות חול מגוונים: באזור חלוצה, עגור וצאלים קיים חול דיונות, בנגב הצפוני מערבי (באזור קדמה, להבים) קיים פוטנציאל חול פוסילי בתת הקרקע, לעיתים מתחת לשכבות חרסית. כמו כן, במישור רותם מצוי מרבץ חול גדול שחלקו מנוצל כיום. פרט לכך, מחצבות החצץ מפיקות בתהליך גריסת האבן "חול מחצבה" אשר חלקו משמש לייצור תערובות בטון.

נתוני צריכה ומקורות אספקה

היקף הצריכה של החול קשור בהיקף צריכת האגרגט לחצץ והמלט והוא הכרחי לייצור בטון. צריכת החול בשנים האחרונות נאמדת בכ-7 מיליון טון בשנה, כאשר היקפים אלה נמוכים בכ-30-40% בהשוואה לצריכה החול בשנת 1995. עד לסוף שנות ה-90, המקור העיקרי לאספקת חול לענף הבנייה היה מישור החוף. הכרייה במישור החוף, יחד עם פיתוח תשתיות, יישובים ומתקנים ביטחוניים, גרמה לפגיעה בערכי הטבע בסביבת החוף ולצמצום שטחי החולות והיא נאסרה והופסקה באופן רשמי עם מציאת פתרונות אחרים לאספקת חול, מאתרי כרייה בדרום הארץ וחול מחצבה ממחצבות החצץ.

על פי תמ"א 14 ב' (2010) חול נצרך בהיקף משמעותי של כ-7.8 מיליון טון בשנה לצרכי בניין ותשתיות באופן שוטף. הצפי לשנים הבאות הינו עליה הדרגתית עד לממוצע של כ-8.8 מיליון טונות. דרישות חול וחומר מילוי לפרויקטים ימיים נלקחו בחשבון בחישובים אלה (תמ"א 14 ב' דו"ח שלב א'8-א'9³).

¹ תמ"א 14 ב' (2010). תכנית מתאר ארצית לכרייה וחציבה למשק הבנייה והסלילה. מדיניות תכנון וניהול למשק הכרייה והחציבה. מנהל התכנון, משרד הפנים.

<http://energy.gov.il/Subjects/Mining/Documents/MEDINIYUT.pdf>

² Dean, Otay, and Work (1995). Perdido Key beach nourishment project: a synthesis of findings and recommendations for future nourishments. Tech. Rep., Coastal and Oceanographic Eng. Dept., University of Florida, Gainesville, Florida COEL 95/011. 47 pages.

³ תמ"א 14 ב' (2008). תכנית מתאר ארצית לאתרי כרייה וחציבה למשק הבנייה והסלילה. תחזית ביקושים לחומרי כרייה וחציבה, דו"ח שלב א'8-א'9. מנהל התכנון, משרד הפנים.

<http://www.moin.gov.il/SubjectDocuments/Karka0706.pdf>





אספקת החול כיום הינה מהמקורות הבאים:

- חול טבעי מאתרים בדרום הארץ (מישור רותם וערד) - מספקים כ- 65% מהצריכה השנתית, העומדת על כ-4.5 מיליון טון בשנת 2007.
- חול מעבודות פיתוח לאורך מישור החוף - אין אומדנים מדויקים על כמויות החול המסופקות מעבודות פיתוח אלו. ההערכת אנשי המקצוע בתחום היא שהיקפי החול המשווק מגיעים למאות אלפי טון בממוצע לשנה.
- "חול מחצבה" - תוצר לוואי לגריסת החצץ. לאחר שינוי התקנים בשנים האחרונות יכול חול המחצבה לשמש לייצור בטון, בהתאם לרמת העיבוד והניקוי של החומר. היקפי השיווק הנוכחיים של חול מחצבה מוערכים בכ- 3 מיליון טון בשנה.
- חול פוסילי - שכבות של חול המצויות מתחת לשכבות חרסית במישור החוף הפנימי. חלק מהשכבות שנחשפו שימשו לאספקת כמויות שוליות עד כה למפעלי הבטון במרכז ובדרום הארץ.

מאזן בין ביקוש להיצע

הביקוש החזוי לחול עומד על כ- 310 מיליון טון עד שנת 2040, הווה אומר, צריכה צפויה של כ- 10 מיליון טון בממוצע בשנה. להלן השוואת הביקוש להיצע בר מימוש של חול באתרי כרייה בדרום, על פי תכניות מפורטות מאושרות. המאזן אינו מביא בחשבון ניצול של חול מחצבה כתחליף לחול טבעי. ניתן להעריך את פוטנציאל הייצור של חול המחצבה כתוצר לוואי של חצץ (15-20%) על פי היקף הביקוש החזוי לחצץ. בהתאם לכך, פוטנציאל חול המחצבה עומד על בין 200-300 מיליון טון. היקפים אלה צפויים לשמש לתערובות אספלט, חול לבטון, חול לטיח וכד'. כמובן שעתודות אלה נוספות לעתודות הנדרשות לחצץ.

ניתן לראות כי המשאב החולי נמצא בחסר בשטחי התמ"א ויש צורך בפתיחת אזורים נוספים לכרייה. כמו כן האזור הדרומי הוא זה העשיר בחול כך שאזורים צפוניים צריכים למצוא פתרונות זולים יותר מאשר לשנע את החול צפונה.





השוואת ביקוש להיצע של חול ועתודות בתכניות בהליכים ובתמ"א 1

עמודות בתמ"א 14	סטטוס מחצבה	עתודות בתוכניות מפורטות בהליכים (מיליון טון)	מאזן בין ביקוש להיצע בר מימוש (מיליון טון)	עתודות בנות מימוש בתכניות מפורטות (מיליון טון)	ביקוש 2008- 2040 (מיליון טון)	שם המחצבה	אזור
	לא פעילה			4.0		כפר מנחם-דרום	דרום מישור החוף הפנימי
	לא פעילה			1.5		חולות אטדים	צפון מזרח הנגב
	פעילה			12.0		ערד	
	פעילה			2.0		רותם מזרח	
	פעילה			2.0		רותם דקל	
	לא פעילה			75.0		רותם תעשייה	
	לא פעילה			25.0		רותם צפון	
	לא פעילה	10.0		1.0		חולות סמר - אילת	אילת
65		10.0	-183.5	122.5	306		סך הכל ארצי

בעתודות חול ברשימות בשטחים שאינם בתמ"א 14 נרשמו כ- 500 מיליון טון עתודות נוספות (תמ"א 14 ב' דו"ח שלבי א' 1-א' 4⁴) בעיקר בדרום הארץ:

עמודות (מ"ט)	מוצר	מחוז
479.1	חול	דרום
793.8	חצץ	
149.1	חרסית	
59.3	מצע ומילוי	
7.0	שיש	
1020.4	גיר למלט ואבקות	
2508.7		דרום סכום
46.0	חצץ	חיפה
63.4	גיר למלט ואבקות	
109.4		חיפה סכום
159.2	חצץ	ירושלים
160.0	גיר למלט ואבקות	
319.2		ירושלים סכום
26.4	חול	מרכז
200.6	חצץ	
10.7	חרסית	
9.8	מצע ומילוי	
247.5		מרכז סכום
51.2	גבס	צפון
348.7	חצץ	
230.2	חצץ לבזלת	
15.4	חרסית	
12.7	טוף	
3.0	מצע ומילוי	
2.9	שיש	
69.5	גיר למלט ואבקות	
733.6		צפון סכום
3918.4		סכום כולל

אחד הפתרונות הנשקלים, בעיקר במקרה של חול הדרוש לתשתיות ימיות, הינו החול הימי.

⁴ תמ"א 14 ב' - תכנית מתאר ארצית לאתרי כרייה וחציבה למשק הבנייה והסלילה. דו"ח שלבי עבודה א' 1-א' 4. הערכת פוטנציאל חומרי הגלם הקיים.
<http://www.moin.gov.il/SubjectDocuments/Karka0702.pdf>



החול הימי

מקורות חול וכמויות

מדף היבשת של דרום ומרכז ישראל מהווה חלק אינטגרלי של התא הליטורלי של הנילוס המשתרע על פני 700 ~ ק"מ, מאלכסנדריה שבמערב דלתת הנילוס ועד לעכו בשולי מפרץ חיפה. תא ליטורלי זה הינו תא סדימנטרי חופי גדול המקיים מחזור סדימנטרי שלם הכולל מקור, המספק את עיקר הסדימנטים לתא, כוחות דינמיים, המסיעים את הסדימנטים ואזורי שקיעה סופיים בהם מורבדים הסדימנטים היוצאים מהמערכת⁵. מקור הסדימנטים הינו הנילוס, וכיום לאחר סכירתו, הדלתה הנסוגה של הנילוס מהווה את המקור לחול בעוד שסדימנטים דקי גרגר התמעטו⁶.

מדף היבשת הישראלי הולך ונעשה צר ותלול יותר מדרום כלפי צפון, ככל שמתרחקים ממוצא הנילוס. מול עזה רוחבו 30 ~ ק"מ, מול אשקלון 20 ~ ק"מ ומול ראש הנקרה 5 ~ ק"מ עם שיפועים הנעשים תלולים בהדרגה⁶. הסדימנטים הדומיננטיים בחופי ישראל (עד לראש עכו בצפון) הינם חולות קוורץ עדינים שהוסעו אל הים התיכון על ידי הנילוס. מצפון לעכו מאופיין הסדימנט בחולות גסי גרגר ובתכולת גיר גבוהה⁵.

גם מדף היבשת נחלק לשני חלקים, עד ראש הכרמל וצפונה מראש הכרמל. בחלק בדרומי העיקרי מדף היבשת רחב יחסית ומצטמצם ככל שעולים צפונה. מול עזה רוחבו כ-20 ק"מ, בתל אביב כ-15 ק"מ ובהמשך מעכו צפונה רוחבו כ-5 קילומטרים בלבד. בחלקו הדרומי שיפוע המדף אחיד ומתון (1-0.5%) ומקביל לחוף ואילו בחלק הצפוני השיפוע חד יותר (1-2.5%) ומופרע על ידי קניונים ורכסי כורכר תת מימיים רבים⁵.

התפלגות הסדימנטים על המדף תוארה על ידי ניר במחקרו מ-1989. יצוין כי המחקר מבוסס על מדידות משנת 1965. ניר חילק את מדף היבשת מאזור אשקלון עד עכו לשלוש יחידות עיקריות⁷: 1. הרצועה הקרובה לחוף (עד עומק מים של 25-30 מ') - שבה אנרגיית הגלים גבוהה ולכן מושקע בה חול. החול הוא קוורצי ומקורו מהנילוס עם אחוזי קרבונט קטנים (1-3%) לאורך החוף אחוז הקרבונט עולה לכיוון צפון ומגיע עד לכ-12% מול חופי נתניה. המקור העיקרי של הקרבונט הוא מבליה והריסה של רכסי הכורכר. 2. הרצועה השנייה (עד עומק מים של 55 מ') מאופיינת בסדימנטים רכים, דקי גרגר הכוללים טין, חרסית ומעט חול. 3. הרצועה המערבית (עד עומק מים של 100-120 מ') מאופיינת בסדימנטים עדינים המורכבים בוץ כהה ומכילים חרסית יותר מטין ופחות מ-1% חול. במיפויים סיסמיים רדודים התגלו בעומקי מים הגדולים מ-30 מ' שכבות

⁵ צביאלי. (2006). תהליכים סדימנטולוגיים במפרץ חיפה והקשרם לתא הליטורלי של הנילוס. תזה לדוקטורט, אוניברסיטת חיפה.

⁶ אלמוגי-לבין, חרות, סנדלר וגלמן. (2009). שינויים מהירים בחופי ישראל בעקבות סכירת נהר הנילוס והשפעתם על מדף היבשת הים תיכוני הרדוד של ישראל. דוח חיא"ל H75/2009 והמכון הגיאולוגי GSI/36/2009.

⁷ אביב ניהול, הנדסה ומערכות מידע בע"מ. (2007). מסמך מדיניות לאיים מלאכותיים לתשתיות. <http://www.moin.gov.il/SubjectDocuments/Chof27.pdf>





חול עמוקות הנמצאות מתחת לשכבת הסדימנטים דקי הגרגר. חול זה הושקע במדף בתקופה בה מפלס הים היה נמוך ב-120 מ' מהמפלס הנוכחי.

הסעת החול הנילוטי לאורך חופי ישראל מתבצעת בעיקר על ידי זרמי חוף אורכיים, מושרי-גלים, הפועלים בעיקר במים רדודים באזור המשברים וקצת מעבר לכך. עד עומק של 30 מטרים פועלים גם זרמים מושרי רוח מקומית החלשים בסדר גודל מהזרמים הקרובים לחוף. עיקר עוצמת הזרמים נמדדת בסערות חורף חזקות ואז גם תוסע כמות החול הגדולה ביותר לאורך חופי ישראל⁵. החול לאורך החופים נע מדרום לצפון ברוב ימות השנה ומושפע מהזווית בין הגלים לבין קו החוף⁵. שטף החול התיאורטי בשנה ממוצעת באשקלון הוא 400,000 מ"ק, באשדוד כ-200,000 מ"ק, בהרצליה 100,000 מ"ק ובחוף הכרמל הצפוני 70,000 מ"ק⁵. תוספת הסעת חול על ידי זרמים מושרי רוחות מעלה את כמות החול המוסעת בצפון הארץ לכ-80-90 אלף מ"ק⁵.

חול בלתי מלוכד

מאזן החול שלאורך החוף הוא תוצאה של התהליכים החופיים הטבעיים ושל התערבות האדם. מאזן החול הטבעי הוא הערך העולה מאובדן חול אל מפרץ חיפה, מנישוב חול ליבשה (יצירת דיונות), ומזרימת חול מערבה אל הים העמוק, ושל תוספת חול כתוצאה מזרימה אורך-חופית של חול מחופי סיני והוספת חול כתוצאה מגידוד מצוק החוף הכורכרי.

רכס הכורכר הטבוע הקרוב ביותר לחוף בולט על פני הקרקעית בעומק של 30-40 מ' וחופף לקצה הרצועה החולית. במקומות אלה נראה כי רכס הכורכר חוסם בריחת חול מערבה מהרצועה החולית שלאורך החוף אל המפתן היבשתי הפתוח. על-פי הועדה למימי חופין (1999), יש להימנע מניצול החול המצוי ברצועת החול הזו: המורפולוגיה של רצועת החול היא ביטוי למצב שיווי משקל דינמי, וכל הפרעה בה, למשל על-ידי סילוק חול ממנה, תגרום מיד לגריעת חול מן הזרימה האורך-חופית, ובעקבותיה להרס חופים. אפשר שניתן יהיה להשתמש בחולות הבסיס של סדרות הטין והחרסית ההולוקניות המכסות את רכסי ומרזבות הכורכר התת-ימיים המצויים בעומקי מים רדודים יחסית (עומק מים של 30-50 מ'). חולות אלה מכוסים במעטה טין וחרסית שעוביו 3-6 מ'.

על-פי דוח הסיכום של הועדה לאיים מלאכותיים (Dutch/Israeli Steering Committee) (2000), בבחינת פוטנציאל כרייה מן הים, הוחלט לא לכרות חול בעומק מים הרדוד מ-30 מטרים, למרות מציאת חול מתאים, עקב החשש להשפעות סביבתיות ימיות שליליות על קו החוף הקיים. ב-2010 מסמך המדיניות להתמוטטות המצוק החופי חזר על הצורך בכרייה עמוקה מ-30 מטרים⁸.

על בסיס הסקר הסיסמי אשר בוצע בעומק מים שבין 30 ל-70 מ' בין זיקים בדרום לחדרה בצפון, והקידוחים לעומק של עד 12 מ' בקרקעית המדף, מכוני המחקר הישראליים (חקר ימים ואגמים לישראל, המכון הגיאולוגי והמכון הגיאופיסי לישראל)

⁸ ביי, אידלמן וכהן (עורכים). (2010). התמוטטות המצוק בחופי ישראל. דרכים להתמודדות, והמשמעויות הכלכליות, הציבוריות והסביבתיות. מסמך מדיניות, טיוטא לדיון.





איתרו אמנם פוטנציאל של 400 מיליון מ"ק של חול המכיל 30-50% חומרים דקים (טיין וחרסית) מתחת לשכבת חרסית דקה יחסית. אך, חול כזה אינו מתאים לשמש כחומר מילוי לפי הקריטריונים שנקבעו ע"י הטכניון ללא סינון מוקדם של החומר הדק. טיפול שכזה מייקר מאד את עלות החול ועשוי להיות לא כלכלי. החישובים שנעשו על-ידי בוסקליס ההולנדית מראים כי באזור הנבדק יש מצאי של כ- 21.2 מיליון מ"ק חול המתאים לשמש כחומרי מילוי בעלות של 5 דולר למ"ק. בהשוואת מחקרם של גוליק וחובריו ומחקרה של חברת Fugro Engineers מראה אריק גולן כי כמות החול עד עומק של 60 מטרים מוערכת ב-110-120 מיליון מ"ק⁹. ממחקרו של גולן במים העמוקים מ-60 מטרים עולה כי כפי הנראה לא קיים חול בלתי מלוכד הניתן לשימוש בעומקים אלו. לעומת זאת מצביע מחקרו על המצאות סלעי כורכר בעומק של 100 מטרים העשויים להתאים לכרייה ולשמש כחומר מילוי איכותי.

כורכר

כורכר מצוי בכמויות נכבדות בקרקעית הים. הכורכר מכוסה בקרום ביוגני קשה, שעוביו יכול להגיע עד לחצי מטר. ניתן לכרותו מתוך רכסי הכורכר התת-ימיים תוך פגיעה מינימלית במורפולוגיה התת-ימית ובעולם החי והצומח של קרקעית הים (ע"פ תמא 14 ב'). יש לבחון כמובן האם קיימת שיטה "ידידותית לסביבה" במידה ויוחלט על כרייה כזאת. מכוני המחקר אשר עבדו עם הועדה לאיים מלאכותיים, הצביעו על פוטנציאל של מעל ל-100 מיליון טון כורכר חשוף, המתאים לשמש כחומרי מילוי. החישובים שנעשו על-ידי בוסקליס ההולנדית מראים כי באזור הרדוד יש מצאי של כ-17.6 מיליון מ"ק כורכר המתאים לשמש כחומרי מילוי בעלות של 5 דולר למ"ק. חב' בוסקליס מצאה כי בנוסף קיימים כ-75 מיליון מ"ק כורכר הניתנים לכרייה (בעומק מים שבין 40-50 מ') בעלות שבין 10-15 דולר למ"ק. יש לציין כי סלעי כורכר חשופים הינם בית גידול חשוב ביותר.

גוליק וחובריו¹⁰ ערכו סקר סיסמי רדוד של מדף היבשת בין חדרה וזיקים כחלק ממחקר שמטרתו לברר מציאותם של מרבצי אגרגטים אשר יתאימו כחומר מילוי להקמת איים מלאכותיים. מרבית הסקר בוצע בעומקים שבין 25-70 מ'. השכבה העמוקה ביותר שממנה התקבלו החזרות סיסמיות הייתה שכבת הכורכר. היא הוגדרה כשכבת כורכר על-פי צורתה המורפולוגית של גבעות ועמקים. ברובה המכריע שכבה זו מכוסה על-ידי שכבות צעירות יותר של סדימנטים בלתי מלוכדים, אולם יש מקומות בהם הכורכר בולט מעל פני הסדימנט ויוצר רכסים על קרקעית הים.

מעל לכורכר מופיעות סדרות של שכבות דקות המשוכבות בצורה עדינה ומגיעות עד לפני קרקעית הים. ההנחה היא כי שכבות אלה הן סדימנטים בלתי מלוכדים, כנראה חול ובז, כאשר חילופי הגוון מצביעים על ריכוזים שונים של שני חומרים אלה. באזור המים הרדודים, ממזרח לרכס הכורכר המזרחי בעומק מים רדוד מ-30 מ', מופיעה על

⁹ גולן. (2013). חקר מדף היבשת על אומדן נפח החול הזמין לצורך בניית איים מלאכותיים. דוח ביניים של חקר ימים ואגמים למשרד האנרגיה והמים.

¹⁰ Golik, Gardosh, Gill & Almagor. (1999). Artificial islands project - prospecting for offshore aggregates. IOLR Report H 19/99 Haifa, July 1999.

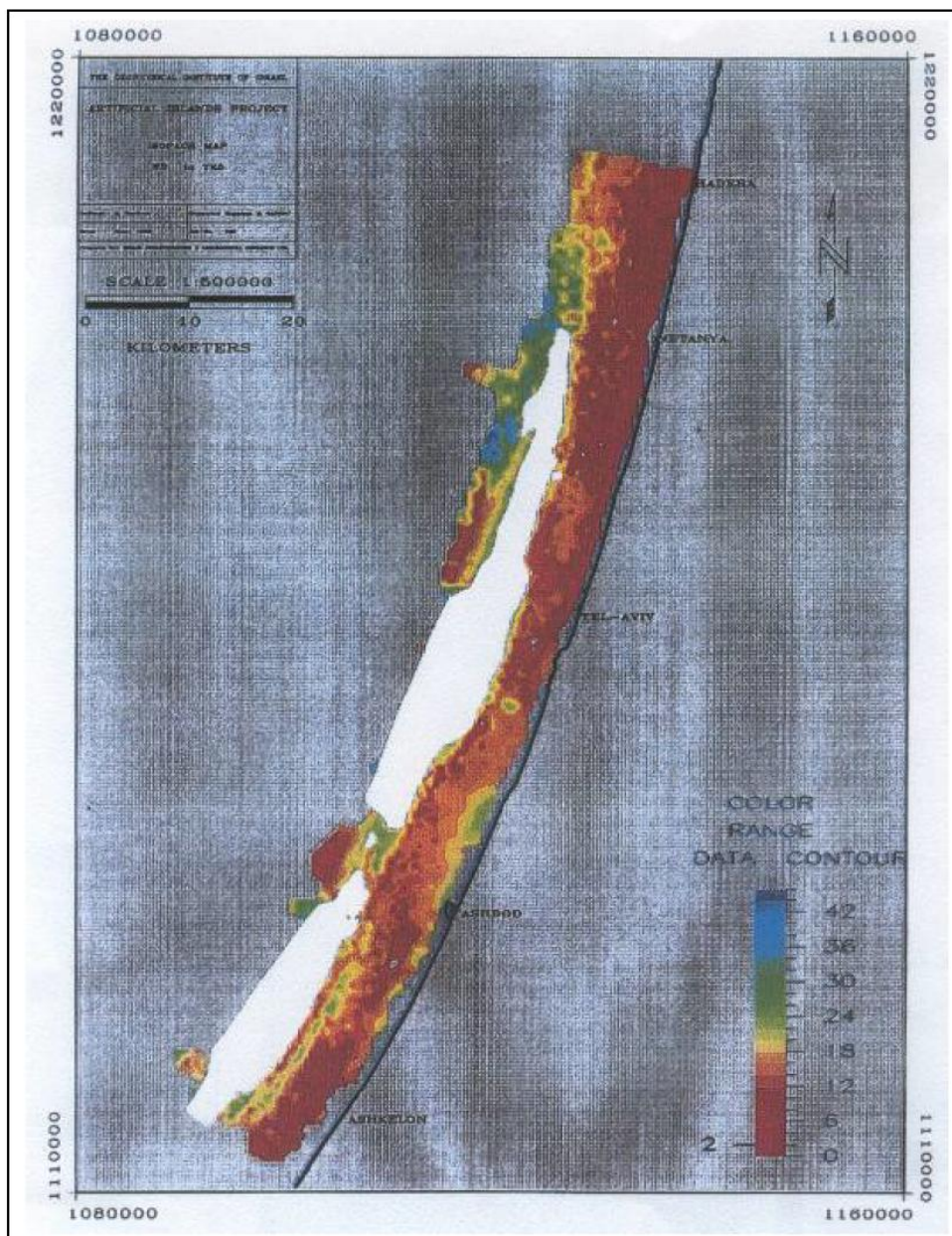




גבי הכורכר שכבת סדימנטים בלתי מלוכדים אשר מראים שיכוב גס עם גושים בתוכם. שכבה זו בנויה מחול עם עדשות בוץ בתוכו.

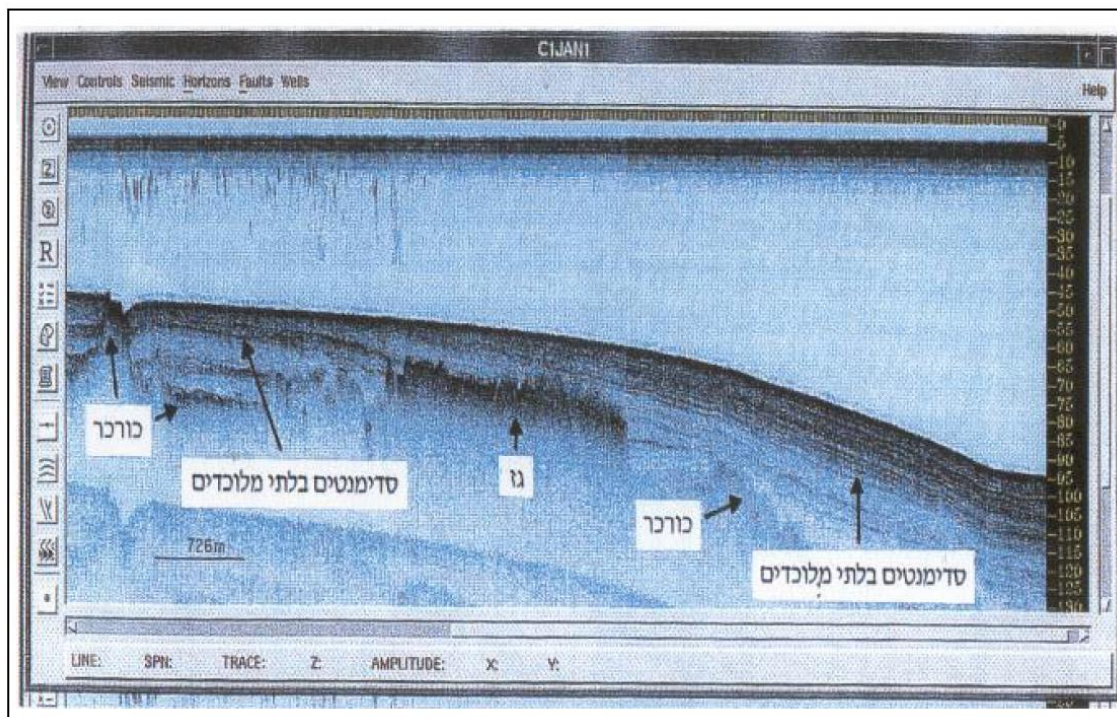
1. **מפה איזופכית של הסדימנטים הבלתי מלוכדים (מתוך גלובס יזום, 1999)**
 באיור 1 שלהלן ניתן לראות את התפוצה הגיאוגרפית של עובי הסדימנטים המצויים מעל לכורכר. לפי התרשים, האזור בו מצוי העובי הרב ביותר של הסדימנטים הבלתי מלוכדים נמצא בין פלמחים לאשדוד וכי ככלל, עובי הסדימנטים הולך ונעשה דק ככל שנעים צפונה. קרקעית הים בעומקים שמעל ל-30 מ' מכוסה בבוץ שאינו מתאים למטרות מילוי ומטרת הסקר נועדה לברר אם קיים מאגר חול מתחת לבוץ. איור 2 הוא חתך סיסמי לרוחב מדף היבשת וניתן לראות בו את כל השכבות אשר צוינו לעיל. כמו כן, ניתן לראות בו כי השכבות השונות הולכות ומתעבות מהחוף לכיוון הים הפתוח. הסקר קובע כי אם קיים חול מתחת לבוץ יהיה כדאי לכרות אותו רק באזורים הרדודים שנכללו בסקר משום שבהם שכבת הבוץ, שהוא חומר תפל לכרייה, דקה. עם זאת, לפי מחקרם של גוליק וחובריו, הוחלט כי כיוון שהחול המצוי על קרקעית הים במים רדודים משתתף בתהליכים החופיים המשפיעים על שפת הים, לא תעשה כריית אגרגטים בעומקים רדודים מ-30 מ' שכן כרייה כזו כמוה ככריית חול משפת הים.





איור 1. מפה איזופכית של הסדימנטים הבלתי מלוכדים (מתוך גלובס יזום, 1999)





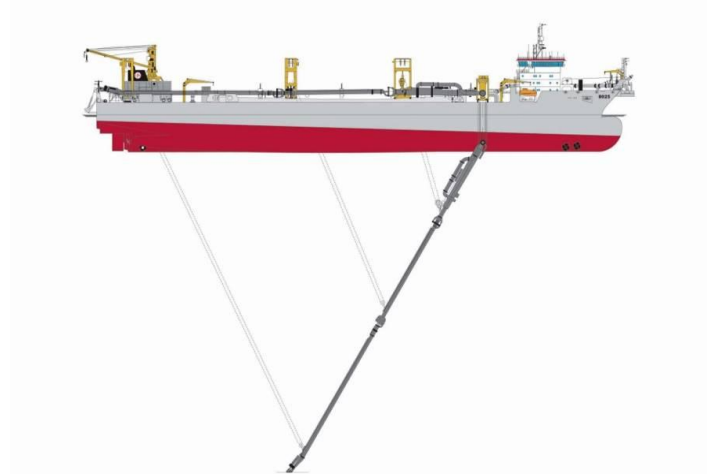
איור 2. חתך סייסמי של מדף היבשת (המקור גלובס יזום 1999, נלקח מתוך תמ"א 14'ב' הערכת פוטנציאל חומרי הגלם הקיים).

החול כמחצב ימי

שיטות לכריית חול ימי

יש שתי שיטות עיקריות לכריית חול בעומק הים, הראשונה, מחפרן-יניקה-נגרר (Trailing Suction Hopper Dredger) להלן מחפרן-יניקה. אוניית מחפרן שכזו שואבת שכבה דקה מפני הקרקע משטח גדול, עד עומק מים של עשרות מטרים.

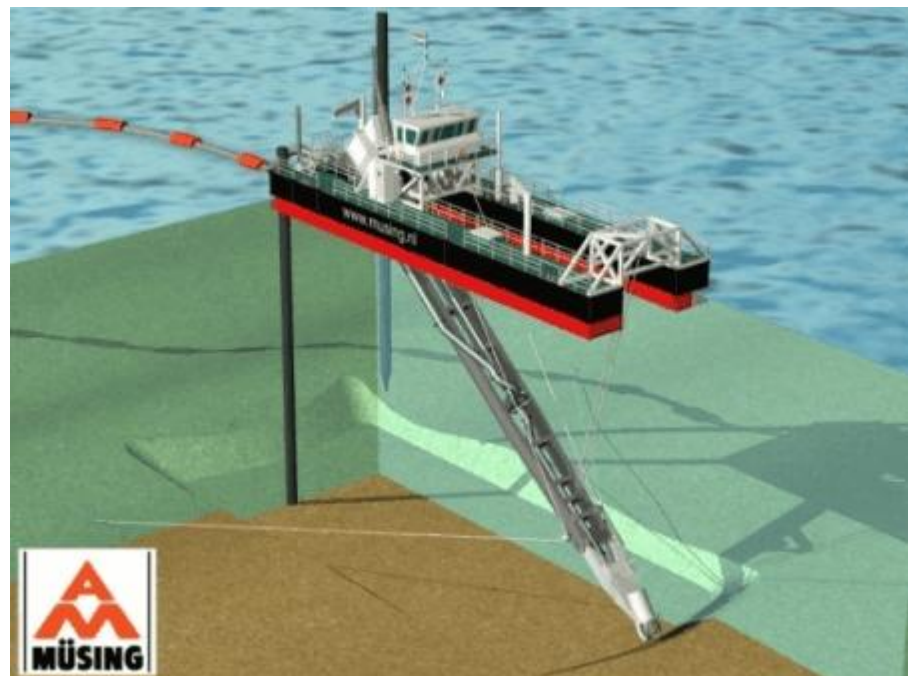




איור 3. מחפרן- יניקה-נגרר (Trailing Suction Hopper Dredger).

השיטה השנייה היא על ידי מחפרן-חיתוך-יניקה (Cutter Suction Dredger), להלן מחפרן-חיתוך אשר חופר בורות עמוקים. מחפרן החיתוך מחובר על ידי צינור ליבשה והטיפול בחול הינו יבשתי. הוא גורם להרחפה מעטה יותר אך מוגבל במרחק מהחוף ועומק המים.

השימוש במחפרן-יניקה הינו הנפוץ יותר וכיום, עם גידול משמעותי בגודל האוניות, הגיע גם גידול ביכולות להפקת חול מעומק הים.



איור 4. מחפרן-חותר-יונק (Cutter Suction Dredger).

<http://www.youtube.com/watch?v=RQWWMwgAjUs>



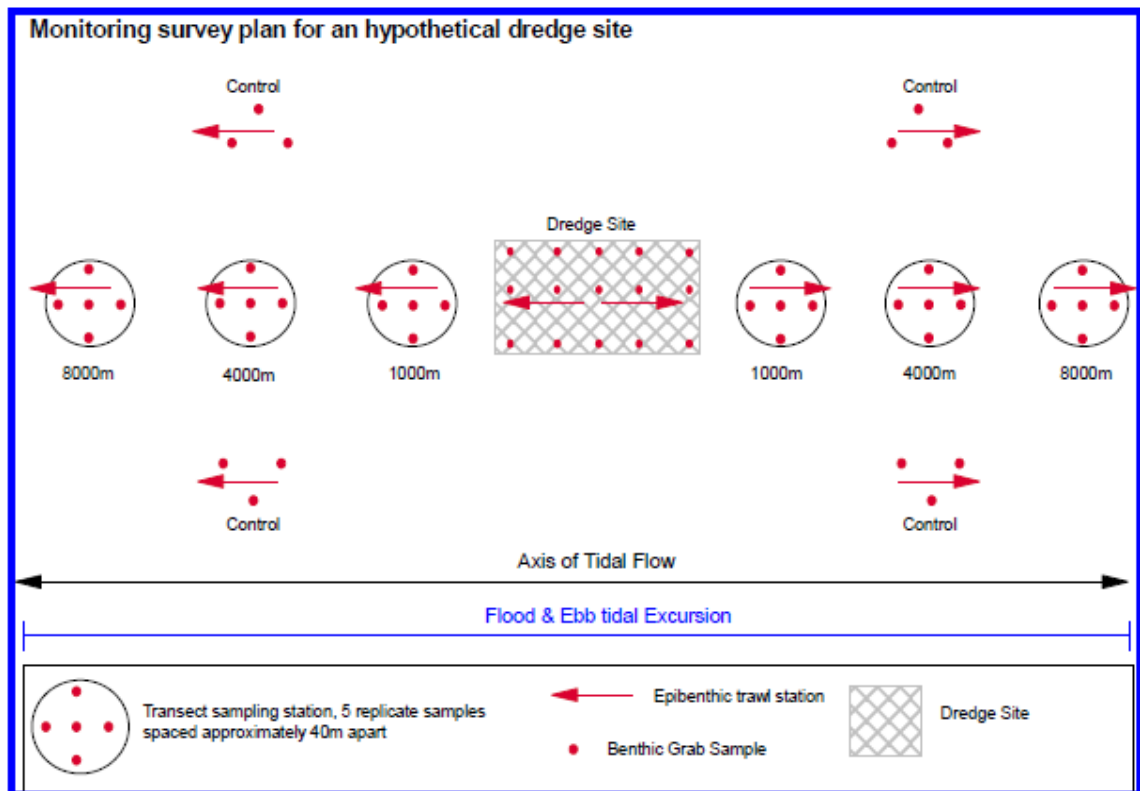
ניטור ובקרה

ניטור הינו כלי מפתח בפעילויות כרייה בכדי לוודא פעילות ידידותית לסביבה ולהפחתת נזקים.

ישנם מכשירים ותוכנות המיועדים למטרה זו המופעלים בארה"ב וכן באירופה. בארה"ב הופעלה מערכת "פקח שקט" (Silent inspector), למערכת זו שלושה חלקים. 1. מערכת ייחודית למחפרון, 2. מחשב שרת בספינה ו-3. מחשב שרת בחוף. המערכת הייחודית למחפרון אוספת נתונים ומידע על החפירה ומעבירה אותם לספינה. מהספינה ניתן לשדר את הנתונים אל הרגולטור. קבלן הכרייה מספק את המערכת והחיישנים שעל הספינה. כיום מופעלת מערכת משודרגת הנקראת ניהול איכות חפירה (Dredging Quality Management)¹¹.

בארצות הברית הצבא אחראי על פעילות זו וחיל המהנדסים שלהם פיתח את המערכת שאליה מדווחים: <http://dqm.usace.army.mil/>

ניטור בע"ח בקרקעית יעשה במספר שיטות ובמרחקים שונים משטח הכרייה⁹.



איור 5. דוגמא למערך ניטור לאזור כרייה. הנקודות מציינות אזורים בהם יהיה שימוש בכף תפישה (grab) והחיצים האדומים מצביעים על אתרי מכמורת (trawl)⁹.

¹¹ Baird & Associates Ltd. and Research Planning Inc. (2004). Review of existing and emerging environmentally friendly offshore dredging technologies. US Department of the Interior, Minerals Management Service. OCS Report 2004-076. <http://www.boem.gov/Non-Energy-Minerals/2004-076.aspx>





השפעות כריית החול על בית הגידול הימי

קיימת עלייה בדרישה לחול עבור פיתוח ימי והגנה על החופים בישראל ובעולם כולו. כריית חול ימי עשויה ליצור הפרעה לשיווי המשקל של החול בחוף והפרעה לתפקודיות האקולוגית של סביבת הקרקעית החולית (Seabed). הפגיעה בסביבה הימית החלה להחקר כבר בשנות ה-60 של המאה ה-19, כאשר מירב הדגש היה על אבדן האוכלוסיות בקרקעית ופגיעה במשאבי הדייג, אך מאז נבחנת ההשפעה על רוב המרכיבים של המערכת האקולוגית¹². פעילות הכרייה גורמת לאובדן כבד של החי על פני החול, בתוכו ובסביבה הקרובה ועלולה לגרום לפגיעות הבאות בסביבה, מעבר לפגיעה המיידית בבית הגידול החולי שנשאב: פגיעה בפלנקטון, דגים וצעירים של מינים שונים של חיות ימיות, שיחרור חומר אורגני, דשנים (נוטריינטים), מתכות כבדות ורעלנים אחרים מהסדימנט לעמודת המים, עלייה בעכירות, שינוי של הטופוגרפיה, ושינוי דפוסי הרבדה של סדימנט מעבר לתחום הכרייה. כמו כן ייתכנו השפעות משניות ארוכות טווח של הסעת חולות אזורית, שינוי זרימה וגלים ועד לשינוי מבנה חופים ובלייח חופית.

השפעות מיידיות של עבודת הכרייה

פגיעה פיזית בבעלי חיים

פגיעה או מוות של מיני מטרה כגון צבי ים כתוצאה מהישאבות למתקן השאיבה תוך כדי פעולת החופרת.

חופרת מדלגת (Hopper dredger) עשויה להרוג צבי ים עקב מהירות הפלגתה הגבוהה. יש להשתמש בטכנולוגיה המקטינה פגיעה זו וכמו כן להשתמש בתצפיתנים מנוסים, שימוש במתקן נגד כניסת צבים למשאבה, השארת ראש השאיבה על הקרקעית בכל תנאי למעט כאשר המשאבה סגורה, כאשר יש לכוון את הראש לפס שאיבה הבא וכן כאשר יש סכנה כלשהי לכלי השיט. יש להשתמש במכמורתן מיוחד לאיסוף צבים מהקרקעית העובר לפני החופרת. צבים שיילכדו ישוחררו במקום אחר.

זיהום רעש

העולם התת-ימי מושפע ממגוון רחב של רעשים ממקור אנושי, מקור הקול הדומיננטי בחופים וימים רדודים. מנועי ספינות, סקרים סייסמיים של איתור נפט וגז, קידוחים ימיים וסונאר בתדר נמוך שנמצא בשימוש בחיילות הים. הקול נע מהר יותר בתווך הימי ועובר מרחקים גדולים יותר מאשר באטמוספירה. יונקים ימיים ודגי מעמקים רגישים במיוחד לרעש. הקול משמש בעלי חיים שונים בתקשורת, ניווט, אוריינטציה, צייד וזיהוי טרף וטרפים¹³. רעש של פעילות כריית חול הוא רעש לא פוסק, broadband בעיקר בטווח

¹² Sutton & Boyd (Eds.). (2009). Effects of extraction of marine sediments on the marine environment 1998 - 2004. ICES Cooperative Research Report (297th ed., p. 180). Copenhagen: Internat. Council for the Exploration of the Sea.

¹³ ACCOBAMS. (2012). Scientific Synthesis on the Impacts of Underwater Noise on Marine and Coastal Biodiversity and Habitats. Montreal.





התדירויות הנמוך ($<1\text{kHz}$) עם פוטנציאל לרמות לחץ קול מעל 180dB או $1\mu\text{Pa}$ במרחק מטר, רעש הניתן לזיהוי על ידי טורפים ימיים ממרחק 6 ק"מ (תלוי בתנאים המקומיים)¹⁴. במחקר שפורסם לאחרונה¹⁵ הראו שדולפינים פוקדים פחות את שטחי ההזנה בנמל מסחרי כאשר פעילות כריית החול שם אינטנסיבית.

פגיעה בפאונה שעל הקרקעית ובתוכה

לבעלי החיים שעל הקרקעית ובתוכה יש תפקיד עיקרי במחזור חומרי הרקב במערכת האקולוגית הימית. הם אחראים על מחזור החומר האורגני שאחרת היה נקבר בסדימנט ועל השבת חומרי תזונה (נוטריאנטים) לעמודת המים. הפאונה שעל הקרקעית ובתוכה משמשת מקור מזון חשוב לדגים ואורגניזמים אחרים החיים בסמיכות לקרקעית (דמרסליים)^{17,16}. כריית חול גורמת לירידה בשפיעות המינים, מגוון המינים, ובביומסה^{19,18} באזור הכרייה ובסביבה. לבעלי חיים אלה סמוכי הקרקע או שחיים בתוכה אין יכולת תנועה, או שיכולתם מוגבלת מאוד ואינם יכולים לברוח, כגון קיפודי ים וצדפות²⁰. לדוגמא, באתר כרייה בים התיכון (ספרד) שלושה חודשים לאחר כריית החול מגוון המינים ירד בצורה משמעותית, נעלמו כמעט לחלוטין הצדפות האכילות גדולים של מיני תולעים רב זיפיות אופורטוניסטים כגון *Malacoceros sp.* ו-*Capitella capitata*²¹. באזור 7 רואים כי לאחר הפסקת הכרייה, שלל הדייג של הצדפות האכילות, *D. variegates*, *C. chione*, *Acanthocardia aculeata*, *Donax trunculus* וכך *C. chione*, המשיך לצנוח 3 שנים לאחר הפסקת הכרייה¹⁸.

ישנה חשיבות גוברת להשפעה המשנית של הכרייה על הסביבה: תמרת הטיין והסדימנט שנזרק חזרה לים בסביבת הכרייה. בעלי חיים הניזונים בסינון יפגעו מאוד

Thomsen, McCully, Wood, Pace & White. (2009). A generic investigation into noise profiles of marine dredging in relation to the acoustic sensitivity of the marine fauna in UK waters with particular emphasis on aggregate dredging: PHASE 1, Scoping and review of key issues (p. 49). doi:MEPF/08/P21

Pirotta, Laesser, Hardaker, Riddoch, Marcoux & Lusseau. (2013). Dredging displaces bottlenose dolphins from an urbanised foraging patch. Marine pollution bulletin, 74(1), 396-402. doi:10.1016/j.marpolbul.2013.06.020

De Groot. (1979). An assessment of the potential environmental impact of large-scale sand-dredging for the building of artificial islands in the North Sea. Ocean Management, 5(3), 211-232.

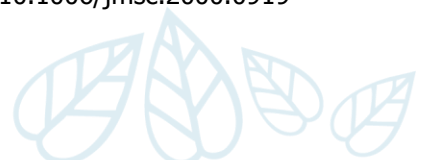
Newell, Seiderer & Hitchcock. (1998). The impact of dredging works in coastal waters: a review of the sensitivity to disturbance and subsequent recovery of biological resources on the sea bed. In A. D. Ansell, R. N. Gibson & M. Barnes (Eds.), Oceanography and Marine Biology: an Annual Review (pp. 127-178). UCL Press. http://www.seasurvey.co.uk/sites/default/files/docs/review_paper.pdf

Boyd, Limpenny, Rees & Cooper. (2005). The effects of marine sand and gravel extraction on the macrobenthos at a commercial dredging site (results 6 years post-dredging). {ICES} Journal of Marine Science, 62(2), 145-162. doi:10.1016/j.icesjms.2004.11.014

Kenny, Rees, Greenin & Campbell. (1998). The effects of marine gravel extraction on the macrobenthos at an experimental dredge site off North Norfolk, UK (results 3 years post-dredging).

Sarda. (2000). Changes in the dynamics of shallow sandy-bottom assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea. ICES Journal of Marine Science, 57(5), 1446-1453. doi:10.1006/jmsc.2000.0922

Dalfsen, Vandalfsen, Essink, Toxvigmadson, Birklund, Romero, & Manzanera. (2000). Differential response of macrozoobenthos to marine sand extraction in the North Sea and the Western Mediterranean. ICES Journal of Marine Science, 57(5), 1439-1445. doi:10.1006/jmsc.2000.0919





בגלל סדימנטציה של חלקיקים דקים (כגון, פגיעה באיברי הסינון והנשימה אצל צדפות). לדוגמא, סדימנטציה גורמת לשינוי בהתנהגות, לפגיעה במטבוליזם ובגדילה, של הצדפה *Mya arenaria* החיה בסדימנט החולי-טיני. חצי מאוכלוסיית צדפות אלה ימות תחת עומס קטן מ-75 ס"מ של סדימנט^{23,22}. כרייה באזורים של חול נייד ונקי פחות מדאיגה משום שבעלי החיים באזור זה רגילים לתנועת החול בגלים ולקצבי סדימנטציה גבוהים. באזורים הסלעיים בחוף יש מיני בעלי חיים רגישים שלא שורדים תחת 5 ס"מ של חול יממה בודדת²⁴.

Emerson, Grant & Rowell. (1990). Indirect effects of clam digging on the viability of soft-shell clams, *Mya arenaria* L. Netherlands Journal of Sea Research, 27(1), 109–118.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/007775799090039J>

Grant, & Thorpe. (1991). Effects of Suspended Sediment on Growth, Respiration, and Excretion of the Soft-Shell Clam (*Mya arenaria*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 48(7), 1285–1292. doi:10.1139/f91-154

Chandrasekara & Frid. (1998). A laboratory assessment of the survival and vertical movement of two epibenthic gastropod species, *Hydrobia ulvae* (Pennant) and *Littorina littorea* (Linnaeus), after burial in sediment. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 221(2), 191–207.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098197001238>



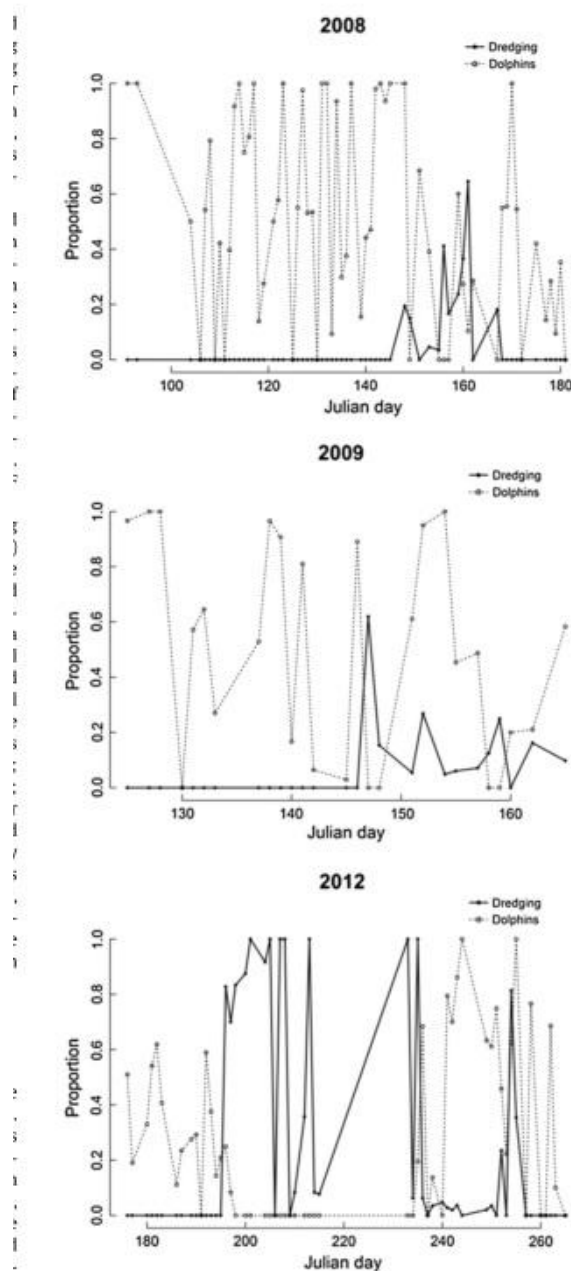


Fig. 2. Proportion of time during which the dolphins and the dredging boats were observed in Aberdeen harbour across each year.
E. Pirota et al./Marine Pollution Bulletin xxx (2013) xxx-xxx

איור 6. יחס הזמן בו נרשמו תצפיות בדולפינים ובספינות כרייה לאורך שנה¹³.



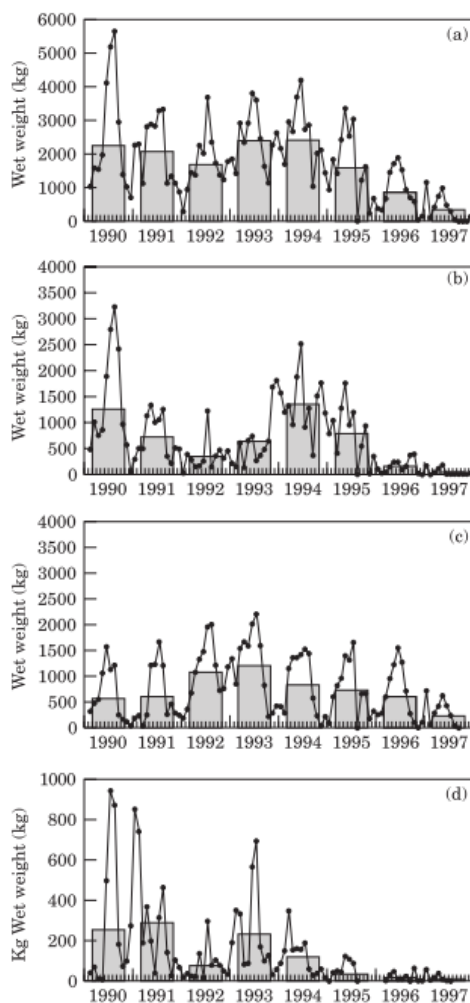


Figure 4. Temporal variation in monthly (dots) and average monthly (shaded bars) catch (kg wet weight including shells) of bivalves by the artisanal fleet fishing from Blanes, 1990-1997: (a) total; (b) *Callista chione*; (c) *Donax variegatus* and *D. trunculus*; (d) *Acanthocardia aculeata*.

איור 7. שלל צי דייגי הצדפות. כריית חול באזור התרחשה בשנת 1994.¹⁷

הגברת עכירות המים וסדימנטציה (הרבדה) במי הים

השפעה קצרת מועד של הגברת העכירות כתוצאה מעבודת ראש המחפר או מסינון חלקיקים בספינה

כריית החול יוצרת תמרת סדימנט בקרקעית²⁵. כמו כן נוצרת תמרה בפני המים כתוצאה מתהליכי העיבוד על הספינה. במידה ומסננים את הסדימנט על הספינה לגודל הגרר

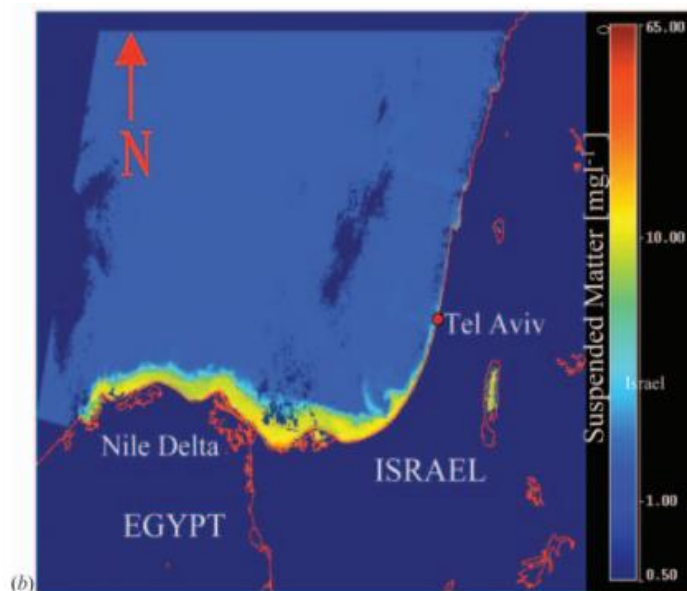
Hitchcock, Newell & Seiderer. (1999). Investigation of Benthic and Surface Plumes associated with Marine Aggregate Mining in the United Kingdom – Final Report (Vol. 44).²⁵



הרצוי, עם המים חוזרים לים גם הסדימנט הלא רצוי (לרוב סדימנט דק יותר), דבר היוצר תמרה של טין בפני השטח, המתפשט עם כיוון הזרם.²⁶

ככל שמתרחקים מהחוף, מי הים צלולים יותר (איור 8) ולכן לכריית החול תהיה השפעה משמעותית יותר על הסביבה. לתמרת הסדימנט השפעה על מעבר האור בעמודת המים (עכירות) ונוצרת הרבדה (שיקוע חלקיקים) באזור הכרייה ובמורד הזרם ממנו. האגן המזרחי של הים התיכון מאופיין במים צלולים ביותר (איור 9), ואף נרשם שיא עבור מזרח הים התיכון של 53 מ' עומק סקי (מדד לעכירות, צלחת לבנה בקוטר 40 ס"מ) ארבעים וחמישה ק"מ מערבית לאשקלון.²⁷

לעומת המים העמוקים, החוף הישראלי מושפע במישרין מדלתת הנילוס, בריכוזי חומר חלקיקי מרחף ההולכים ויורדים מדרום לצפון, ובריכוז חומר מרחף נמוך, מעבר לאזור משברי הגלים.²⁸ בנוסף, באזור החופי עקב פעילות גלים זרמים יהיו כמויות לא מבוטלות של סדימנט מורחף.



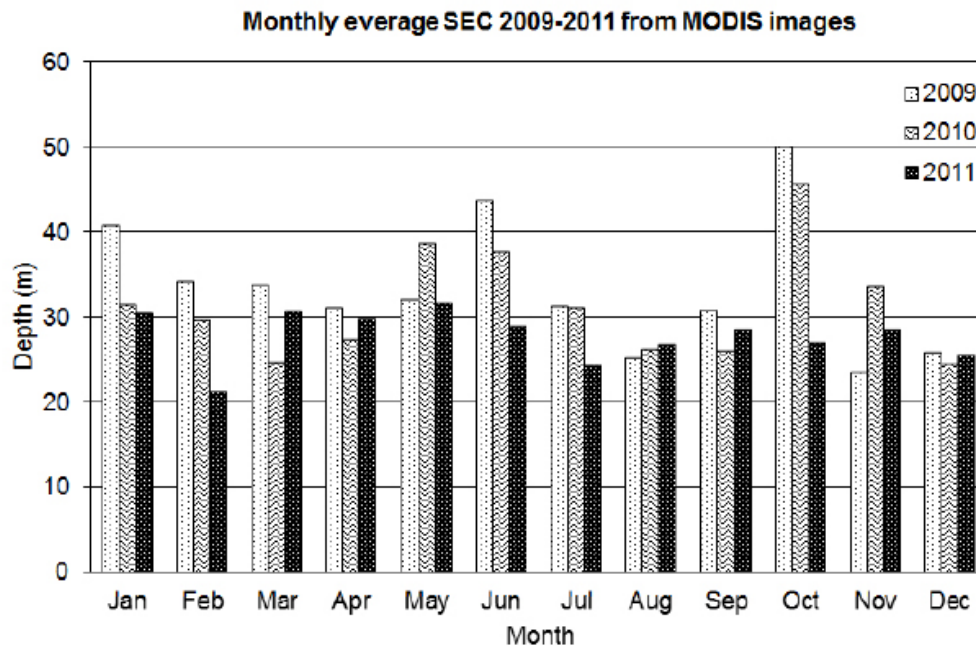
איור 8. אנליזת חומר מרחף לאורך חופי אגן הלונט, מצלומי לויין.²⁸

Hitchcock & Drucker. (1996). Investigation of benthic and surface plumes associated with marine aggregates mining in the UK. In *Oceanology International 96: Conference Proceedings*, v. 3: The Global Ocean - Towards Operational Oceanography (pp. 221–234). Brighton, UK: Spearhead Exhibitions Ltd. <http://www.amazon.com/Oceanology-International-Proceedings-Operational-Oceanography/dp/0900254130>

Berman, Walline, Schneller, Rothenberg & Townsend. (1985). Secchi disk depth record: A claim for the eastern Mediterranean. *Limnology and Oceanography*, 30, 447–448.

Figueras, Karnieli, Brenner & Kaufman. (2004). Masking turbid water in the southeastern Mediterranean Sea utilizing the SeaWiFS 510 nm spectral band. *International Journal of Remote Sensing*, 25(19), 4051–4059. doi:10.1080/01431160310001657498





איור 9. גרף התפלגות ממוצע של עומקי סקי במדף היבשת מ-2 ק"מ מהחוף ועד קצה מדף היבשת בשנים 2009-2011, מתוך אנליזה של תצלומי לוויין²⁹.

בתסקיר השפעה על הסביבה שבוצע עבור כריית החול במפרץ חיפה³⁰ הוערכה הפגיעה כתוצאה מעכירות וסדימנטציה בבעלי החיים המסננים את מזונם מהמים במצע הרך בכ- 10%. ואילו פגיעתם בבעלי החיים על המצע הקשה עלולה להיות מערכתית: החל מהכחדה מקומית של מינים וכלה בשינויים לבית הגידול של רכסי הכורכה. תפקיד בע"ח המסננים במערכת עשוי להיות חשוב יותר מאשר כמותם היחסית וקשה לצפות כיצד הכחדתם המקומית תשפיע על המערכת האקולוגית באזור³¹.

סדימנטציה

מעבר לסדימנטציה כתוצאה מפעולת הכרייה עצמה, פעולות הסינון של החול והחזרת התסנין לים עשויות לגרום לנזק גדול במידה דומה לנזק כתוצאה מהכרייה. סקירה של פעילות כריית הסדימנט באנגליה הראתה כי בתהליך הכרייה מתבצעת החזרה לים של סדימנט פי 0.2 עד 5 מנפח החול שמועמס על ספינות המשא²⁵.

פעילות הכרייה מגדילה את עומס הסדימנט המורחף במים, העלול לפגוע בבעלי חיים ישיבים כגון צדפות, ספוגים, ואצטלנים. משך שהות תמרת העכירות בעמודת המים

²⁹ חרות, שפר, גורדון, גליל, טיבור, תום, רילוב וסילברמן. (2012). התכנית הלאומית לניטור מימי החופין של ישראל בים התיכון – דו"ח מדעי לשנת 2011, דו"ח חיא"ל H78/2012.

³⁰ תסקיר השפעה על הסביבה – חפירה ימית לחפירת חול בים הרדוד במסגרת תכנון תמ"א 2/1/ב/13. ³¹ מידר, גנין ושקד. (2013). חוות דעת לתסקיר השפעה על הסביבה לתמ"א 2/1/ב/13 : כריית החול נמל המפרץ. המכון הבינאוניברסיטאי באילת.





תלויה בטמפרטורת המים, במליחות, עצמת הזרם וטווח הגדלים של החלקיקים. טווח המרחק אליו יגיעו החלקיקים מאתר הכרייה תלוי בעצמת הזרם, כמות הסדימנט שהשתחרר למים, גודל הגרגר של החומר המורחף ותנאים הידרודינמיים מקומיים²⁶. החלקיקים הכבדים (מעל ובגודל חול) שוקעים בטווח של שעות, במרחק 300-600 מ' מאזור ההשלכה³², והטין והחלקיקים הקלים, בטווח של ימים, במרחק ניכר מאזור הכרייה (נמצאו חלקיקים במרחק 3.5 ק"מ)³³.

טווח הסדימנטציה תלוי בעצמת הזרמים באזור הכרייה. ככלל, פגיעת הסדימנטציה בבעלי החיים הימיים של היא הגדולה ביותר בשלבי החיים הראשונים כאשר ביצים ולרוות של דגים רגישים ביותר^{35,34}.

Newell, Seiderer, Simpson & Robinson. (2004). Impacts of marine aggregate dredging on benthic macrofauna off the south coast of the United Kingdom. *Journal of Coastal Research*, (201), 115–125. [http://www.jcronline.org/doi/abs/10.2112/1551-5036\(2004\)20\[115:IOMADO\]2.0.CO;2](http://www.jcronline.org/doi/abs/10.2112/1551-5036(2004)20[115:IOMADO]2.0.CO;2)

ICES Coop. Res. Rep. (2009). Effects of extraction of marine sediments on the marine ecosystem (CRR No. 247) (p. 84).

Newcombe & Jensen. (1996). Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact. *North American Journal of Fisheries Management*, 16(4), 693–727.

Wilber & Clarke. (2001). Biological effects of suspended sediments: A review of suspended sediment impacts on fish and shellfish with relation to dredging activities in estuaries. *North American Journal of Fisheries Management*, 21(4), 855–875. doi:10.1577/1548-8675(2001)021<0855:BEOSSA>2.0.CO;2



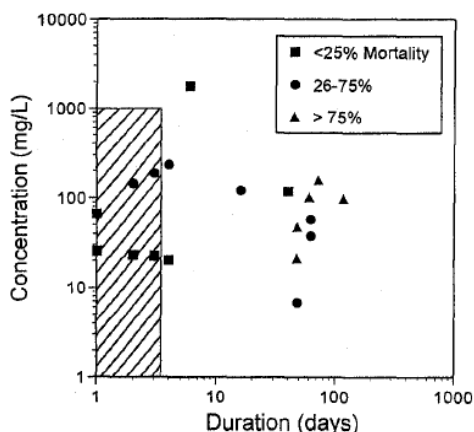


FIGURE 1.—Responses of salmonid and freshwater fish eggs and larvae to suspended sediment concentrations at the given durations of exposure. Data in this figure and Figure 2 came from Table A.1 of Newcombe and Jensen (1996). Lethal response categories are as follows: solid squares (25%), solid circles (26–75%), and solid triangles (>75%). The hatched box (concentration < 1,000 mg/L, duration < 3.5 d) depicts the range of dredging-related suspended conditions most likely to be encountered by stationary eggs.

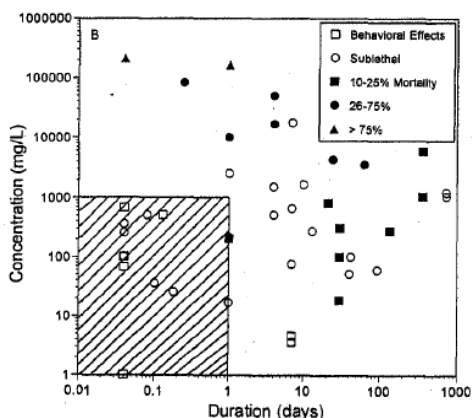
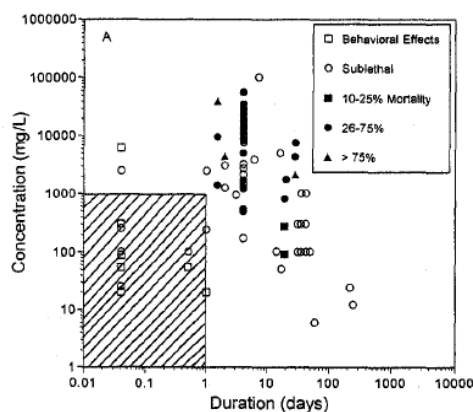
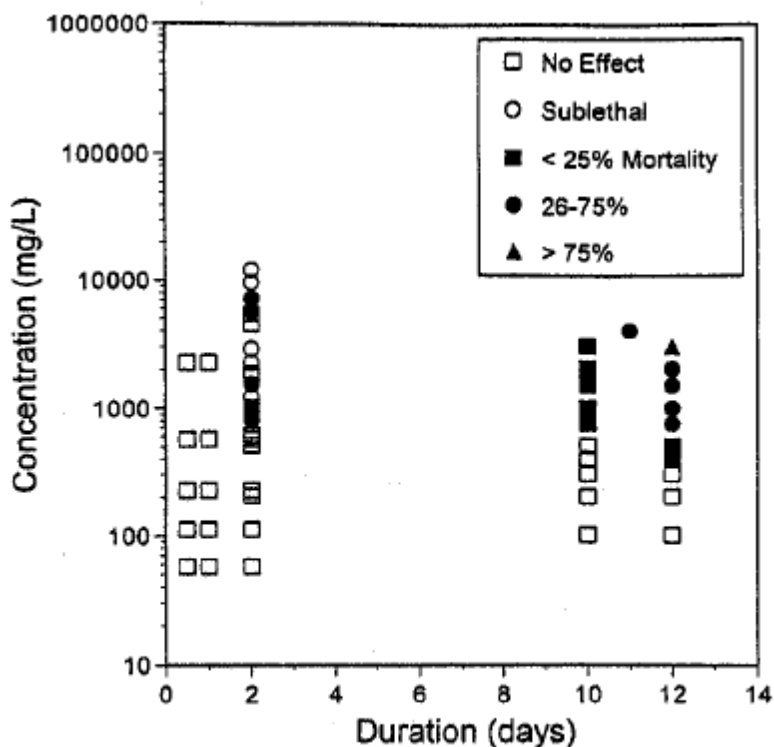


FIGURE 2.—Responses of (A) juvenile and (B) adult salmonid and freshwater fish to suspended sediments. Behavioral effects are depicted by open squares and sublethal effects by open circles; lethal response categories are the same as in Figure 1. The hatched box (<1,000 mg/L, <1 d) depicts a range of dredging-related suspended sediment conditions that may be experienced by salmonids, based on average rates of out-migration.

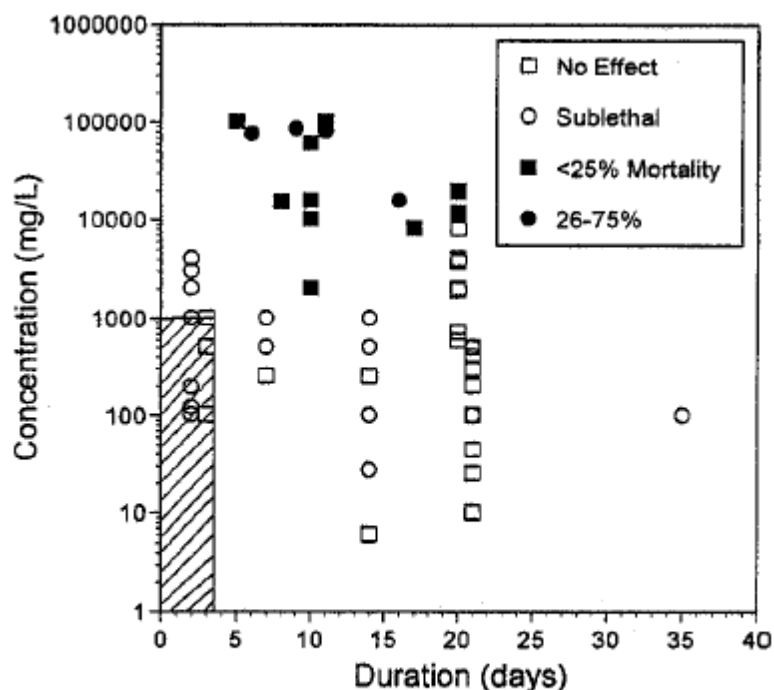
איור 10. השפעה של סדימנטציה על ביצים, צעירים ובוגרים של דגי מים מתוקים וסלמונידים³⁵. ההשפעה תעלה עם זמן החשיפה ועם ריכוז הסדימנט המורחף. בריבוע המסומן נראה תחום העכירות הממוצע לעבודות חפירה בזמן קצר.



סדימנטציה מהווה גורם עקה גם לבעלי החיים שוכני הקרקעית.



איור 11. השפעה של סדימנטציה על לרוות של צדפות³⁵. נראה כי לרוות של צדפות עמידות לריכוזים גבוהים מהללו של הדגים, אך גם אצלן חשיפה ארוכה תגרום להשמדה.



איור 12: השפעה של סדימנטציה על צדפות בוגרות³⁵. נראה כי צדפות הן יחסית עמידות לסדימנט ים מורחפים.





עכירות

תמרת הכרייה נראית במרחק רב יותר מאשר השפעת הסדימנטציה, בגלל שטיפה של שאריות אורגניות למים³⁶. עלייה בריכוזי החומר המרחף עלולה ליצור אפקט הצללה. בין היתר הצללה זו עשויה להשפיע על פעילות הפוטוסינטזה של האצות הפלנקטוניות והאצות הבנתיות שהן מקור המזון במערכת האקולוגית^{31,16} ולפיכך על המערכת האקולוגית כולה.

השפעת עכירות המים על האקולוגיה כתוצאה מכריית חול נבדקה בסביבות של שוניות אלמוגים ועשב ים. לעכירות כתוצאה מהרחפה של סדימנט במפרץ ביסקיין, פלורידה, היתה השפעה רבה יותר מאשר כתוצאה מפריחת אצות (הנובעת מהעשרה בנוטריאנטים)³⁷. עשב הים שתועד בחוף הישראלי, הגלית הגבוהה, *Cymodocea nodosa* צריך מינימום של כ-10% מהקרנה של פני המים (surface irradiance) על מנת ליצר משטחי עשב³⁸.

הרבצת סדימנטים על אזורים סמוכים

במקרים אשר יש שחרור מוגבר של סדימנט דק המים היוצאים מספינת החפירה יהיו למעשה דחוסים יותר ובהגיעם לקרקעית ייצרו אפקט של פנאיית מתרחב. במקרה של שטף בלתי פוסק מהמחפרון, זרם חזק או שיפוע חד לקרקעית ייתכן ויווצר זרם מערבולתי על הקרקעית אשר יסחוף עימו חלקיקים מעבר לאזור של שני קילומטרים שידוע כאזור מושפע¹¹.

השפעה על הפלנקטון

לרוות, ביצים וצעירים של בעלי חיים ימיים, נשאבים מאתר הכרייה ומתים כתוצאה מפעולות הכרייה³⁹. באזור המושפע מענן הבוץ והסדימנט הדק צפויה להיות ירידה ביצרנות הראשונית של הפיטופלנקטון בגלל העכירות במים¹⁶. ואילו ההעשרה בחומרים אורגניים ודשנים כתוצאה משיחרורם מהסדימנט עשויה לגרום לפריחת פיטופלנקטון. פריחת אצות רעילות עשויה לגרום לתמותה של דגים, להצטברות בצדפות ולפגיעה באדם. לצורך פריחה שכזו צריכים להתקיים שלושה תנאים³⁰: 1. כמות נבגים משמעותית בסדימנט, 2. נבגים ויטליים שמסוגלים לנבוט, 3. סביבה עשירה בנוטריינטים. פריחת אצות רעילות הינה תופעה ידועה בים התיכון ומדווחת באופן תדיר בסביבות נמלים וחופים³¹.

³⁶ Newell, Hitchcock & Seiderer. (1999). Organic enrichment associated with outwash from marine aggregates dredging: a probable explanation for surface sheens and enhanced benthic production in the vicinity of dredging operations. *Marine Pollution Bulletin*, 38(9), 809-818. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X99000454>

³⁷ Brand & County. (1988). Assessment of plankton resources and their environmental interactions in Biscayne Bay, Florida. <http://www.aoml.noaa.gov/general/lib/cedar86.pdf>

³⁸ Duarte. (1991). Seagrass depth limits. *Aquatic Botany*, 40(4), 363-377. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/030437709190081F>

³⁹ Stewart & Arnold. (1994). Environmental requirements Atlantic herring (*Clupea harengus harengus*) in eastern Canada and its response to human impacts. (p. ix + 37p.). Dartmouth (Nova Scotia).





פגיעה באיכות הכימית של מי הים

כאשר הסדימנט שכורים עשיר בחומר אורגני או בטין, פעילות הכרייה עשויה להוריד את איכות המים. הערבוב בעמודת המים של חומר אורגני שהיה טמון בתוך החול יגרום לצריכת החמצן מעמודת המים, כלומר, לירידה באחוז החמצן המומס במים, ולשחרור של חומרי דשן (נוטריאנטים) למים. ירידה משמעותית בצריכת החמצן עשויה להיות קריטית לדגים ולחי בקרקעית. אך לרוב, סדימנטים שבוחרים לכרייה בים הפתוח הם עניים בחומר אורגני, וצריכת החמצן שלהם שולית ובעלת מרחב השפעה מוגבל¹².

באם נדרש, ניתן לצמצם את השפעת הרחפת חומרי הדשן שבסדימנט על הסביבה על ידי תזמון עונת הכרייה, הגבלת היקף הכרייה וסוג הסדימנט שנבחר⁴⁰.

זיהום מימי החוף

החול הטמון בקרקעית הים מכיל לעיתים מתכות כבדות, סולפידים, אמוניום בריכוזים גבוהים בסדרי גודל מערכיהם במי הים ומזהמים אורגנים קשי פירוק (חומרי הדברה, ו-PAHs (תרכובות פחמימניות ארומטיות) (PCBs). תהליך הכרייה משחרר אותם לעמודת המים^{42,41}. מזהמים אלה, כשעוברים עיכול, מצטברים ברקמת השומן וריכוזם בבעל החיים עולה ככל שמתארכת החשיפה למזהם (ביואקומולציה) וככל שעולים במארג המזון (ביומגניפיקציה). מלבד רעילות החומרים, חלקם יוצרים הפרעה הורמונלית בחיות בסביבה הימית. מידת רעילותם והפרעתם לסביבה הימית תלויה במספר גורמים: המזהם הספציפי, ריכוזו בסדימנט וזמינותו (מצבו הכימי) להטמע בחי או הצומח. המזהמים האורגנים נכללים בתכולת הפחמן הכוללת של הסדימנט (TOC). זמינות המתכות הכבדות תלויה ב-TOC ובריכוז הסולפידים החומציים הנדיפים (AVS). לרוב, סדימנט חולי מיועד לכרייה בים הפתוח הינו בעל ריכוזים נמוכים של מתכות ומזהמים אורגניים בשל המרחק ממרכזי תעשייה חופיים⁴³. בסביבה חופית מתועשת בעלת תחלופת מים נמוכה רמות המזהמים עלולות להיות גבוהות מאוד. באתרים אלה

⁴⁰ Lohrer & Wetz. (2003). Dredging-induced nutrient release from sediments to the water column in a southeastern saltmarsh tidal creek. *Marine Pollution Bulletin*, 46(9), 1156–1163.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X0300167X>

⁴¹ Lauwaert. (2009). Summary assessment of sand and gravel extraction in the OSPAR maritime area Biodiversity Series (p. 202).

⁴² Johnson, Boelke, Chiarella, Colosi, Greene, Lellis-Dibble, Ludemann, Ludwig, McDermott, Ortiz, Rusanowsky, Scott & Smith. (2008). Impacts to marine fisheries habitat from nonfishing activities in the northeastern United States (Vol. NMFS-NE-20). NOAA.

⁴³ [ICES] International Council for the Exploration of the Sea. (1992). Report of the ICES working group on the effects of extraction of marine sediments on fisheries. Copenhagen (Denmark): ICES Cooperative Research Report # 182. Copenhagen (Denmark).





נהוג לכרות את הסדימנט ולנקות את הסדימנט מהמהמים (remediation), על מנת לאפשר שיקום של המערכת האקולוגית⁴⁴.

סדימנט שנחפר ממרבץ מזוהם ומוטל בחוף ישחרר מזהמים למים. מכיוון שמזהמים כגון מתכות כבדות וזיהום אורגני נוטים להספח לחלקיקים הקטנים ביותר, זיהום זה נישא למרחקים הרבים ביותר ועלול להיות מורחף לאזורי רחצה³¹. כמו כן, להגדיל את עומסי המזהמים במארג המזון בסביבה הימית, ולבסוף בדגי המאכל. במידה וקיימים חיידקים פתוגנים בסדימנט, עבודות החפירה עלולות לגרום לזיהום בחיידקים פתוגנים באזורי רחצה. משך הזיהום הפוטנציאלי תלוי במשך עבודת החפירה באזור הנגוע, לדוגמא, בתוך השטח המיועד לבניית מסוף המכולות החדש נמצאו ריכוזים גבוהים של enterococci³⁰.

השפעה לא ישירה של החפירה על זיהום המים תתרחש ע"י נוכחות אונייה וציד החפירה באזור עלולים לשפוך שמן ודלק, לפלוט גזים רעילים, ולהוסיף מינים פולשים בעת שחרור מי הנטל⁸¹.

פוטנציאל ליצירת נזק לצינור גז או נפט ויצירת זיהום

כריית חול בסמיכות לאזורי הפקת גז ונפט עשויה לגרום לנזקים ישירים ועקיפים לתשתיות גז ונפט כגון פגיעה ישירה של ציוד הכרייה בצינורות ומתקנים, פגיעה של עוגנים והשפעה על יציבות ושלימות מתקנים כתוצאה מהתפתחות של בורות הכרייה ומתזוזת הסדימנט ויצירת אי יציבות במצע אשר תסכן את המתקנים והצינורות ועשויה במקרי קיצון לגרום לדליפת הידרוקרבונים⁴⁵. חשיפת צינורות כתוצאה מכרייה בסביבתם עשויה לחשוף אותם גם לנזקי ספינות דיג.

בכדי להימנע מפגיעה ישירה יש לדאוג לאזורי חיץ בין פעילויות אלו. במקרה ונעשה סקר מדויק של הצינור לפני תחילת הכרייה ניתן להסתפק בחיץ של 50 מטרים. אם לא נעשה סקר יש לדאוג לחיץ של 100 מטרים לפחות.

⁴⁴ Kwon & Lee. (1998). Application of multiple ecological risk indices for the evaluation of heavy metal contamination in a coastal dredging area. *Science of The Total Environment*, 214(1), 203–210. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969798000692>

⁴⁵ Nairn, Lu & Langendyk. (2005). A study to address the issue of seafloor stability and the Impact on Oil and Gas infrastructure in the Gulf of Mexico. U.S. Dept. of the Interior, Minerals Management Service, Gulf of Mexico OCS Region, New Orleans, L.A. OCS Study MMS 2005-043. 179 pp. + appendices.





בכדי למנוע פגיעה עקיפה על ידי שינוי כמויות חול בסביבה יש לדעת את העומק שבו קבור הצינור ולחשב את בליית שולי בור הכרייה והשפעתו המרחבית. בליית שולי הבור תלויה במספר רב של גורמים ותחושב עבור כל מקרה לגופו. עומק המים, סוג וגודל הגרגר, עומק הבור וכן הלאה ישפיעו על מרחק ההשפעה. לעומק הבור השפעה גבוהה מאד על מרחק ההשפעה שלו. בתנאי כרייה ממוצעים בארה"ב (20 מטרים עומק מים) נמצא כי בקרקע חולית ובזרם נמוך לא תהיה בלייה של שולי הבור שתגרע 0.5 מטרים במרחק של למעלה מ-50 מטרים מהבור ולכן אזורי החיץ לפגיעה ישירה יספקו. באזורים בוציים ההשפעה רחבה יותר ועשויה להגיע למאות מטרים⁴⁵.

בכל מקרה יש לבצע מידול של האזור בהתאם לעומק הצינור הקבור, תכנית הכרייה ולאופי הסדימנט והתנאים הסביבתיים.

השפעות מיידיות לאחר הכרייה

השפעה על בית הגידול של הקרקעית החולית

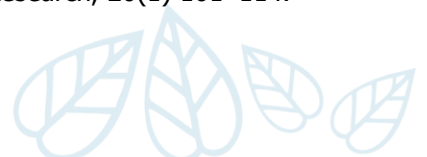
כריית חול הורסת את בית הגידול באזור הכרייה ומסביב לו. בעלי החיים שנשאבים נמעכים ונהרגים. שיטת כריית החול, הסדימנט שנשאר לאחר הכרייה ומשטר הזרמים בסביבת אזור הכרייה, יקבעו את סוג ההשפעה על בית הגידול החולי בטווח הארוך^{43,42,16}.

כריית חול ימי עשויה לשנות את הרכב הגדלים של גרגרי הסדימנט ביחס לסדימנט המקורי⁴⁶. אך השינוי בהרכב הסדימנט אינו מוגבל לאזור הנכרה בלבד (איור 13).

בתי גידול סמוכים לאתר הכרייה לעיתים ניזוקים כתוצאה מסדימנטציה, הפרעה לסדימנט המקורי והסעתו. Newell וחובריו מצאו השפעה על הרכב חברת החי עד למרחק 100 מ' מאתר הכרייה בדרום אנגליה³². כריית חול בהיקף מצומצם מול חופי אנגליה הדרומיים השפיעה בטווח של כ-300 מ' מאתר הכרייה, במורד הזרם. חברות החי במרחק גדול יותר לא נפגעו, למרות השינוי בהרכב החול⁴⁷. מאידך, **כרייה אינטנסיבית סטטית יכולה להשפיע מעל 1000 מ' על מגוון המינים בבית הגידול, גם כאשר לא מתבצע סינון של הסדימנט בספינה**⁴⁶.

⁴⁶ Boyd & Rees. (2003). An examination of the spatial scale of impact on the marine benthos arising from marine aggregate extraction in the central English Channel. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(1-2), 1-16. doi:10.1016/S0272-7714(02)00313-X

⁴⁷ Hitchcock & Bell. (2004). Physical impacts of marine aggregate dredging on seabed resources in coastal deposits. *Journal of Coastal Research*, 20(1) 101-114.



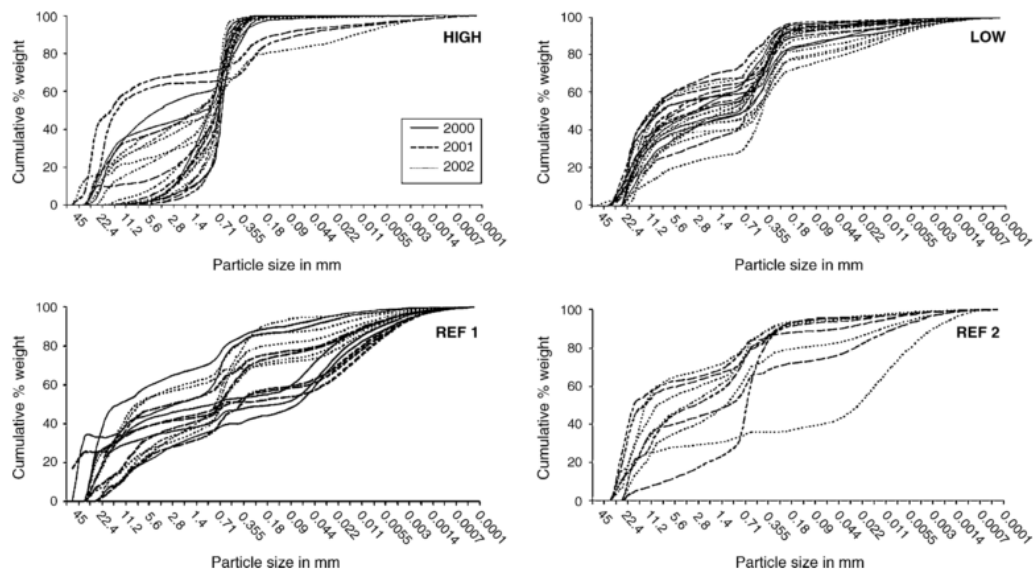


Figure 2. Sediment particle size distributions determined from replicate samples taken from sites of higher and lower levels of dredging intensity and the two references locations.

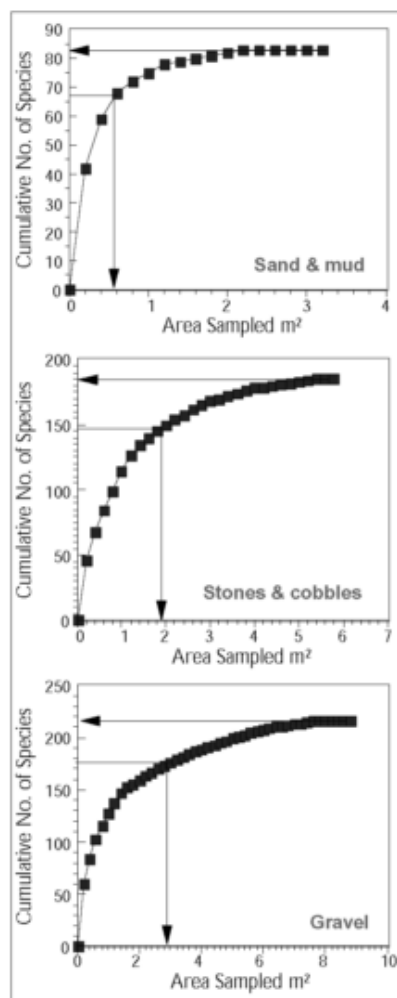
איור 13. בחינת הרכב גדלי הגרגר בסדימנט אשר נכרה בהיקף שונה (Low = <1 hour dredging; High >10 h dredging) ביחס לשתי תחנות ייחוס⁴⁸.

שינוי בתנאים הסביבתיים (כגון שינוי בגודל הגרגר) עלול לגרום לשינויים בפרמטרים הבסיסיים של חברת בעלי החיים שתאכלס מחדש את המקום, כדוגמת שינויים בהרכב המינים, שינויים בשכיחות מינים ובביומסה⁴⁸.

להלן מובאת דוגמה לחברות החי כפונקציה של גודל הגרגר, באתר מיועד לכריית חול בחוף האנגלי³². במצע חולי-טיני נמצאה חברת חי בת כ-80 מינים בעלת מגוון מינים נמוך, לעומת חברות של מצע בעל גודל גרגר גדול יותר, כחצץ או אבנים, שהן עשירות הרבה יותר (כ- 180 ו-220 מינים בהתאמה) ומגוונות יותר.

Pearson & Rosenberg. (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanography and Marine Biology Annual Review*, 16, 229–311.⁴⁸





איור 14. חברות חי שונות מצויות בסדימנט בעל גודל גרגר שונה, באותו האתר³². למעלה, חברת חי בת כ-80 מינים במצע חולי-טיני בעלת מגוון מינים נמוך, לעומת חברות של מצע בעל גודל גרגר גדול יותר, כחצץ או אבנים, באמצע ולמטה שהן עשירות הרבה יותר (כ-180 ו-220 מינים בהתאמה) ומגוונות יותר.

בהשוואת השפעת שתי שיטות כרייה, סטטית (Anchor-dredged) ודינאמית-Trailer (Dredged) על מאסף המינים בחוף הדרומי של אנגליה, ניתן לראות כי מגוון המינים שאכלסו מחדש את האתר בו עמד המחפרון הימי לאורך זמן נמוך בצורה משמעותית מאשר המגוון באתר של כרייה דינמית³² (איור 15).



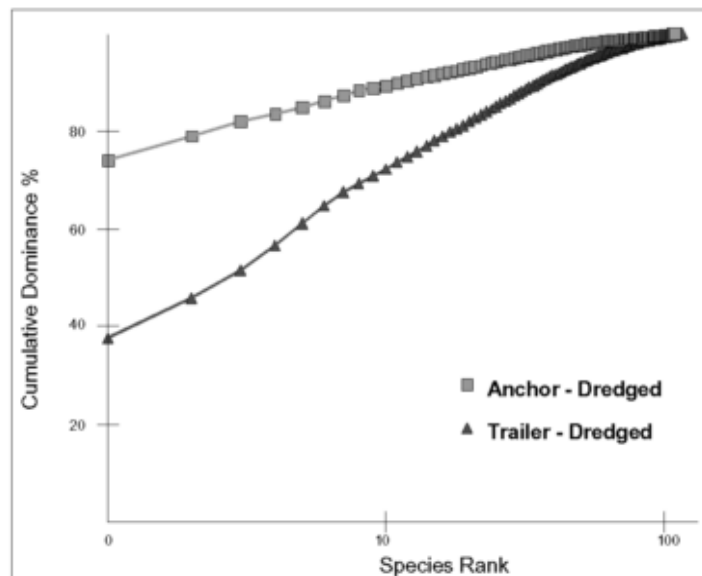


Figure 3. *K*-dominance curves for the macrofauna in combined anchor-dredged sites (squares) and trailer-dredged sites (triangles).

איור 15. השוואה של השפעת שתי שיטות הכרייה, סטטית (Anchor-dredged) ודינאמית (Trailer-dredged) על מאסף המינים בחוף הדרומי של אנגליה³².

ביום הצפוני נמצא כי בכרייה של פחות משעה אין הבדל בהרכב המינים בין אתר הכרייה לאתר ביקורת לאחר 4-6 שנים, ואילו, באתר שעבר מעל 10 שעות של כרייה חסרים או יש שפיעות פחותה של המינים הבאים: *Lumbrineris gracilis* ו-*P. lamarki* (תולעים רב זיפית), *Pisidia longicornis* (סרטן) ו-*Amphipholis squamata* (נחשון)¹⁸.

השפעה נוספת של כריית החול שנמצאה הינה עלייה בביומסה של בעלי החיים במרחק מסוים מאזור הכרייה, כמו טבעת העוטפת את אתר הכרייה. על פי השערת החוקרים, כתוצאה מצריכה של חיות שנפגעו בתהליך הכרייה³².

ברמת המערכת האקולוגית, כרייה על פני שטח ניכר של קרקעית הים עשויה לגרום לקיטוע של בתי הגידול, להפחית את זמינות המשאבים, לפגוע ביחסי טורף נטרף ולהביא לפגיעה באוכלוסיות הדגים והצדפות⁴².

שינויים במאפייני המצע

(גודל גרגיר, כמות חמצן מומס, הידוק וכמות חומר אורגני) המובילים לירידה או שינוי במבנה החברה והתאמת האזור לחפירות נוספות.

חפירה עמוקה מ-3 מטרים עשויה ליצור בור אשר יתמלא בסדימנטים דקים כמו טין. דבר זה עשוי לשנות את חברת בעלי החיים וכן למנוע שימוש חוזר באותו בור.



בורות עמוקים עשויים לא להתכסות או להתכסות לאחר מספר רב של שנים. בורות עמוקים עשויים ליצור בתחתיתם אזורים אנוקסים או במקרים מסויימים אזורים היפוקסיים.

יצירת שקעים ובורות כתוצאה מהכרייה

שינויים בטופוגרפיה

כריית חול דינמית בשכבות דקות (רוחב 1-3 מ', 20-30 ס"מ עומק) נעשית אמנם על פני שטח רחב, אך מותירה מאפייני נוף קרקעית דומים למצבם לפני הכרייה^{42,16}. כרייה חוזרת ונשנית בשיטה זו יכולה להוריד את גובה פני השטח משמעותית⁴¹.

שיטה אחרת היא כרייה סטטית היוצרת בורות שעומקם 4-25 מ' וקוטרם עד 200 מ', בעלי שיפוע של 5°. בשיטת כרייה זו, בעומק מים של מעל 15 מ', צפוי שהבורות שיווצרו לא יתמלאו מחדש ומה שהיה נוף חלק ושטוח יהפוך לנוף מכתשי, כיוון שבעומקים אלה הסעת החול מועטה. במודל שחושב לאשדוד, ישראל, נמצא כי הסעת החול מתרחשת עד מעל לעומק 15 מ' אך רוב נפח החול מוסע עד עומק 9 מ'⁴⁹.



איור 16 : צלקות של כריית חול על פי מוזיקה של חתכי סונאר⁵⁰.

Golik, Rosen, Golan & Shoshany. (1996). The effect of Ashdod Port on the surrounding seabed⁴⁹ shoreline and sediments. Haifa: IOLR (Final report H02/96).
[http://scholar.google.co.il/scholar?hl=en&q=Ashdod+port's+effect+on+the+shoreline,+seabed+and+sediment"&btnG=&as_sdt=1,5&as_sdtp=#3](http://scholar.google.co.il/scholar?hl=en&q=Ashdod+port's+effect+on+the+shoreline,+seabed+and+sediment)

Research Planning, Inc., Tidwater Atlantic Research Inc. and Baird & Associates Ltd. (2004).⁵⁰ Archeological damage from offshore dredging: recommendations for pre-operational surveys and mitigation during dredging to avoid adverse impacts. Leasing Division, Sand and Gravel Unit, Minerals Management Service, U.S. Department of Interior, Herndon, Virginia.
<http://www.boem.gov/BOEM-Newsroom/Library/Publications/2004/2004-005.aspx>





כתוצאה מהכרייה נוצרת טופוגרפיה לא אחידה, ביחס לקרקעית הסובבת את אתר הכרייה. מכתשי כרייה של סדימנט גורמים להאטה מקומית ושינויים בכיוון הזרמים, אך אין להם השפעה של ממש בדפוסי הזרמים ברמת המאקרו⁵¹.

יצירת מכתשים עשויה לשנות את משטר הזרמים בסביבת המיקרו: להאט את מהירות הזרם, מה שגורם לירידה בריכוזי החמצן, ולהגדיל את יחס הסדימנט הדק ביחס לשאר הסדימנט, אשר מורבד בתוך הבורות. דלדול בחמצן בתוך המכתשים מקשה לחי והצומח המקורי להתאושש^{16,12}. בורות כאלה יסתמו עם הזמן בטיין דק. לדוגמא, כריית חול במפרץ Raritan, Long Island Sound הותירה בורות שעומקם גדול מפעמיים עומק הסביבה שמחוץ לאזור הכרייה. בורות אלה אינם יציבים מבחינה פיזית, כימית וביולוגית ומאוכלסים בפאונה ענייה, יותר מ- 50 שנה לאחר הכרייה⁴².

בורות שנחפרו עלולים להיות בעלי תחלופת מים נמוכה ואנאירוביים בעונות מסוימות דבר אשר ימנע מדגים וחסרי חוליות להשתמש בבית הגידול למטרות השרצה, חיפש אוכל ורבייה^{53,52}, ובורות עמוקים מאוד אינם יציבים מבחינה כימית, דבר המשפיע על יכולת האכלוס מחדש של הבורות בחי. מילוי חלקי בסדימנט דק (תסנין) של בורות כרייה, בניסיון לשקם בהם את האקולוגיה גרם לעלייה במגוון המינים⁵³.

פוטנציאל נזק משינוי או הריסת בתי גידול חיוניים לדגים

דגים החיים בסמיכות לקרקעית (דמרסליים) יפגעו בשל פגיעה בשטחי מרעה ואזורי שיחור טרף ורבייה^{43,16}. דגים המשתמשים בעיניים על מנת לאתר טרף לא יוכלו להזון באזורים המכוסים תמרת בוץ. דגים הצדים תוך שימוש בהרחה יפגעו פחות. מצד שני, ענן הריח של החיות הפגועות בקרבת הכרייה מושך דגים אשר נשאבים יחד עם החול¹⁶.

במחקר על דגי הרינג אטלנטי³⁹ מצאו שנשאבו ביצים, לרוות ודגים בוגרים כתוצאה מפעילות הכרייה כמו גם קבירה של תטולות (צברי הביצים) והשפעה של תמרת הסדימנט על הביצים.

קונפליקטים בזמן ובמרחב עם פעילות דיג באזור

עיקר הדאגה שהביעה המועצה לחקר הים⁴³ היא מפגיעה באתרי רבייה סמוכי קרקעית של דגים מסחריים, בנוסף להשפעה הישירה על הדגה. האפשרות לדיג מכמורת בנוף

⁵¹ Van Rijn, Soulsby, Hoekstra & Davies (Eds.). (2005). SANDPIT, Sand Transport and Morphology of Offshore Sand Mining Pits. Process knowledge and guidelines for coastal management. End Document, May 2005. (Part 1. EC.). The Netherlands: Aqua Publications.

⁵² Pacheco. (1983). Seasonal occurrence of finfish and larger invertebrates at three sites in lower New York Harbor, 1981-1982: final report. Highlands N.J.: U.S. Dept. of Commerce, NOAA, National Marine Fisheries Service, Northeast Fisheries Center, Sandy Hook Laboratory. <http://www.worldcat.org/title/seasonal-occurrence-of-fish-and-larger-invertebrates-at-three-sites-in-lower-new-york-harbor-1981-1982-final-report/oclc/244835707>

⁵³ Reine, Clarke, Ray & Dickerson. (2013). Fishery resource utilization of a restored estuarine borrow pit: A beneficial use of dredged material case study. Marine Pollution Bulletin, 73(1), 115-128. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025326X13002786>





מכתשי יורדת משמעותית¹⁶. בנוסף, לעיתים קיימת השפעה משנית של פעילות הכרייה על בתי הגידול המקיימים את הדייג באתר הכרייה וסביבתו כגון השלכה מכוונת או בתאונה של ציוד כרייה לקרקעית, השלכת פסולת הנוצרת בתהליך עיבוד החול, או מבנים שנבנו באתר הכרייה על מנת לעבד או להסיע את החומר הנחצב. לעיתים לפעולות משניות אלה השפעה על הדייג שהינה מרחיקת לכת יותר מאשר הכרייה עצמה⁴².

במודל ביו-כלכלי בחנו את המחיר הכלכלי שענף הדייג עשוי לשלם כתוצאה מכריית חול ימי בקוריאה לאורך שנה, 5 ו-10 שנים⁵⁴. בין המשתנים שנכללו במודל היו אבדן ישיר של שמונה מיני דגים וחסרי חוליות מסחריים, פגיעה בבית הגידול ובמארג המזון ומשך הזמן שלוקח לאוכלוסיות להתאושש. הטבלאות להלן מראות תוצאות מודל ביו-כלכלי על הפגיעה הכלכלית בענף המדגה (בטווח הקצר, הרחוק ובמארג המזון) כתוצאה מכריית חול ימי בקוריאה לאורך שנה, 5 ו-10 שנים⁵⁴.

Table 7 – Short-term, long-term and food web commercial fishery losses from one year of marine sand Mining in Ongjin, Korea (in 2004 \$)

Area	Short-term	Long-term	Food web	Total
One mining site	10,282	15,405	8024	33,710
20 mining sites	205,637	308,098	160,473	674,209

Table 8 – Cumulative losses to commercial fisheries from multiyear mining at 20 sites (in 2004 \$)

Area	Short-term	Long-term	Food web	Total
5-year mining	2,891,552	1,397,658	1,707,320	5,996,531
10-year mining	9,871,973	2,486,720	5,401,327	17,760,020

Table 9 – Sensitive analysis (in 2004 \$)

Case	Base Case result	3 years delay in habitat recovery	100% food web effect	All sensitivity conditions
1 mining site 1 Year — 4 km ²	33,710	65,841	41,734	84,940
20 mining sites (4 km ²) 1 year of mining	674,209	1,316,827	834,682	1,698,806
20 mining sites 5 years of mining (4 km ²)	5,996,531	8,911,704	7,703,851	11,623,864
20 mining sites 10 years of mining (4 km ²)	17,760,020	22,946,712	23,161,347	30,135,856

בים התיכון, על פי המידע הקיים, מרבית הדגים (168 מינים) משריצים בין החודשים אפריל לאוגוסט, חלק משמעותי מהדגים (60 מינים) בין ספטמבר למרץ ו-13 מינים משריצים בכל עונות השנה⁵⁵. בישראל, בשנים 1998-1999 עצרו את המכמורתנים למשך 45 יום בתקופת הקיץ, כניסיון של ממשק הדייג, אך נוהל זה הופסק, למרות תוצאות מעודדות של בדיקת הביניים⁵⁶.

Kim & Grigalunas. (2009). Simulating direct and indirect damages to commercial fisheries from marine sand mining: A case study in Korea. *Environmental Management*, 44(4), 851. doi:10.1007/s00267-009-9367-8

Tsikliras, Antonopoulou & Stergiou. (2010). Spawning period of Mediterranean marine fishes. *Reviews in Fish Biology and Fisheries*, 20, 499–538.

http://www.academia.edu/845819/Spawning_period_of_Mediterranean_marine_fishes

Pisanty, Sonin & Alperovic. (2000). Assessment of the influence of a summer trawling ban on the catch of the fishery. Technical Paper (in Hebrew). State of Israel, Ministry of Agriculture and Rural Development, Department of Fisheries. 17 pp.





פוטנציאל שיקום המערכות האקולוגיות

שילוב של שיטת כריית החול, הסדימנט שנשאר לאחר הכרייה ומשטר הזרמים בסביבת אזור הכרייה קובעים את יכולת התאוששות חברת החי והצומח בבית הגידול החולי. מילוי של האתר החפור וייצוב של הסדימנט תלוי ביכולתם של זרמי הקרקעית להביא ולהרביד חול מהאזור סביב האתר החפור. הותרת מאפייני קרקעית, נוף וסוג סדימנט, הדומים למצבם לפני הכרייה באתר הכרייה ובסביבתו מאפשרים שיקום של החי והצומח שבו תוך שנים ספורות, במידה והאזור לא סבל מהפרעה מתמשכת קודם לפעילות הכרייה, או מכרייה אינטנסיבית¹².

יציבות בתי גידול

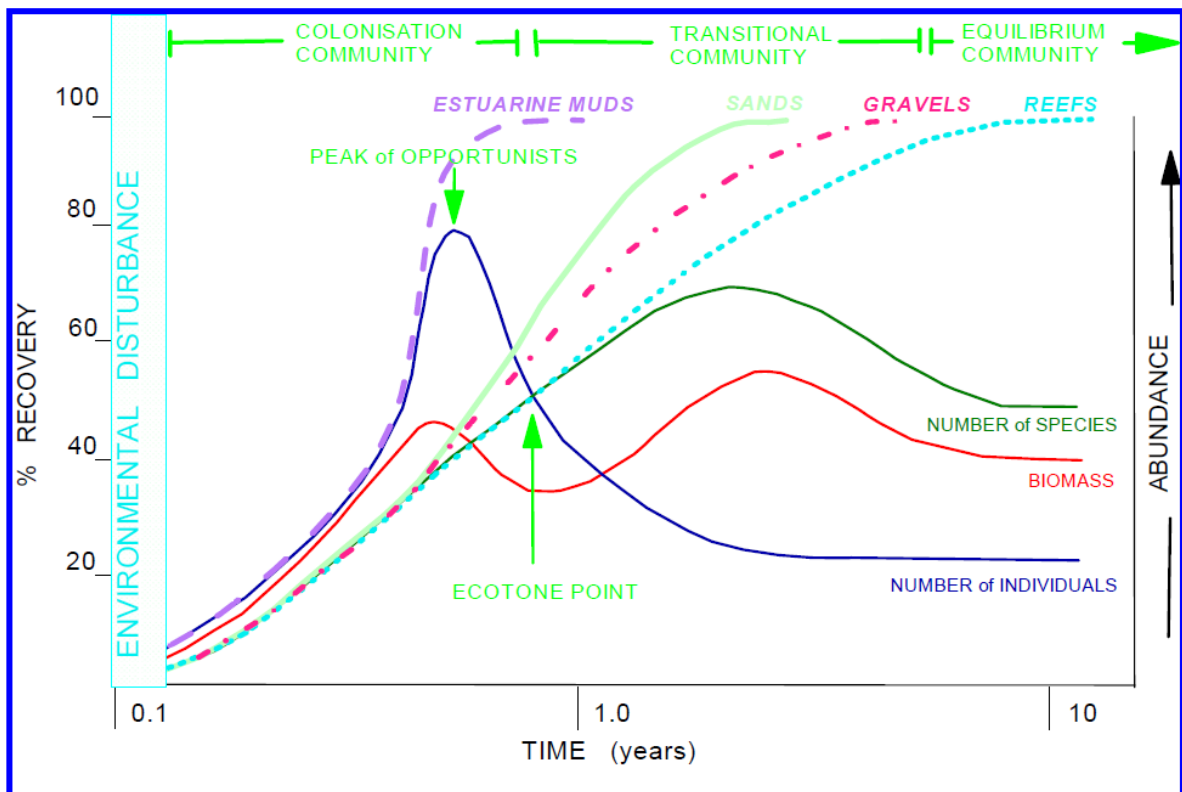
השפעות קצרות מועד ומצטברות המובילות לאבדן או ירידה ביציבות בתי גידול של הקרקעית, כולל התיישבות מחדש של חברה ביולוגית שונה.

הכרייה מובילה להסרה מוחלטת של האורגניזמים מאזור הכרייה, בתי גידול אלה חשובים למערכת האקולוגית ולמארג המזון בכללותו. התאוששות המקום אורכת מספר שנים על ידי תהליכי סוקסציה מורכבים וגם אז ברוב המקרים החזרה היא לחברה שונה מחברת המקור.

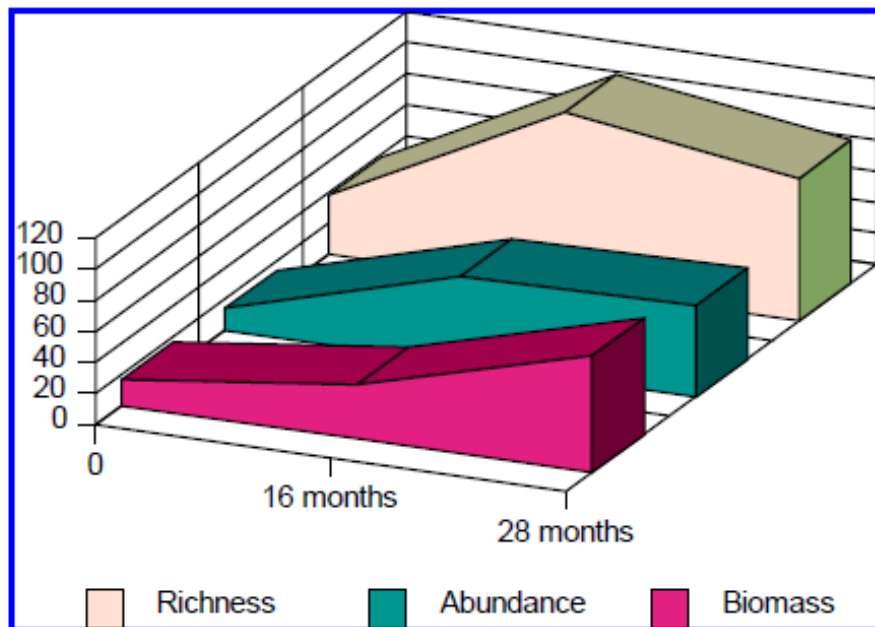
השינויים בחברת בעלי החיים מעלים את הדאגה האם הפונקציה שממלאת החברה החדשה זהה לזו של קודמתה. האם מספקים אותה כמות אנרגיה במעלה שרשרת המזון, ואם לא אזי יש לשקול מחדש את משמעות כרייה נרחבת לאורך שנים וכן כרייה חוזרת הגורמת לנזקים גדולים יותר.

יש חשש באזורים החשובים לדיג דגי קרקעית ושרימפסים לשינוי בית הגידול בצורה כזו אשר תפגע בתעשיית הדיג.



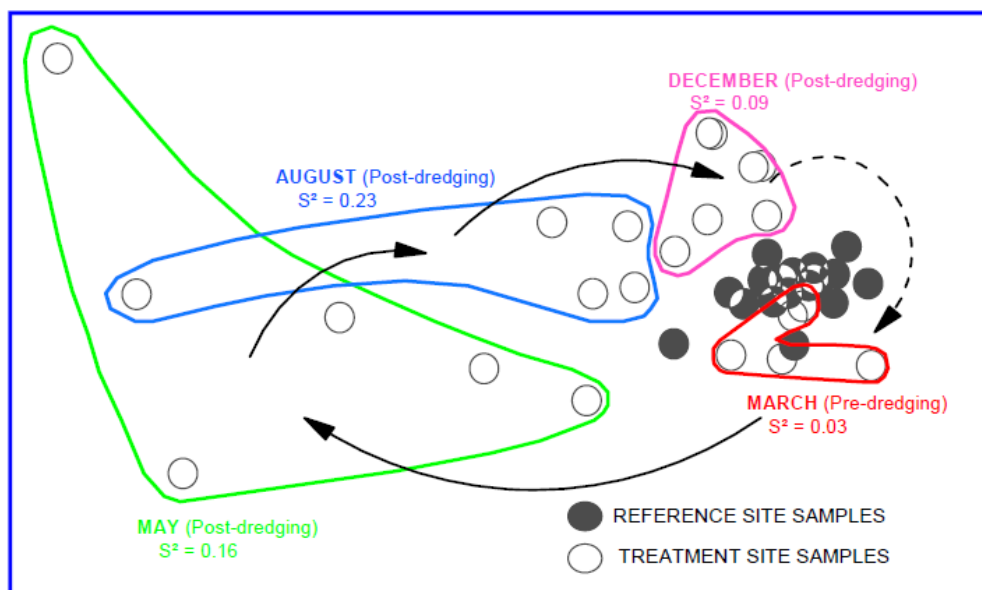


איור 17. דיאגרמה המראה קצבי התיישבות מחודשת לחברות קרקע באזורי שפך נהר ביצתיים, חול, חצץ ושונית סלעית.¹¹



איור 18. אחוז התאוששות של עושר המינים, שכיחות וביומסה של חי קרקע לאחר הפסקת כרייה באתר בצרפת.¹¹





איור 19. אורדינצית MDS לחברות קרקעית באנגליה. מבנה החברה בסקר רקע במרץ, ולאחר מכן במאי, אוגוסט ודצמבר לאחר הכרייה¹¹.

פעולת הכרייה כוללת לעיתים החזרה לים של תסנין בעל מאפיינים שונים מאשר הסדימנט הטבעי, כגון טיין. **במידה ואין הרבדה טבעית חדשה של חול במקום בו השתנה סוג הסדימנט (באתר הכרייה ובסביבתו), חברת החי שתפתח תהיה שונה מחברת החי המקורית.** לדוגמא, הסרטן *Chionoecetes bairdi* ודג משה רבנו (*Pleuronectes aspen*) יבחרו שלא לחיות בסדימנט שעבר עיבוד בתהליך הכרייה ביחס לסדימנט טבעי^{58,57}.

במידה והאזור שעובר כרייה נמצא קודם לכן תחת לחץ דייג כבד של מכמורתנים, או ריבוי מינים זרים כבחוף הישראלי של הים התיכון, יתכן וחברת החי לא תתאושש לחברת השיא (climax) המקורית⁵⁹.

רמה גבוהה של סתגלנות מאפיינת מינים פולשים ומאפשרת את התיישבותם בסביבה נעדרת יציבות אקולוגית כתוצאה מעקה ממקור אנתרופוגני⁶⁰.

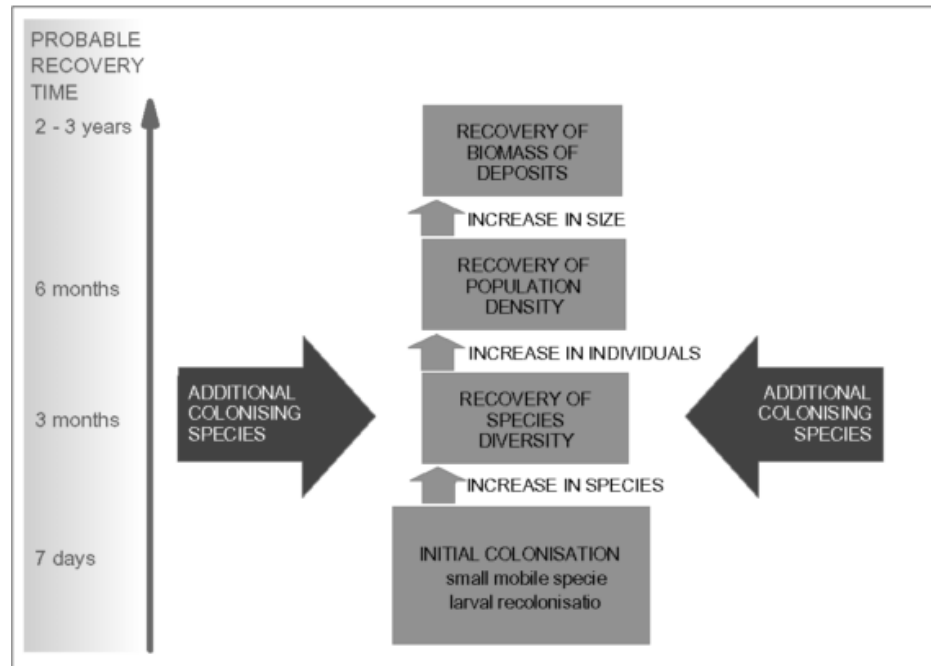
בסקר ספרות על אכלוס של אתרים שעברו כרייה באירופה ובריטניה מצאו זמנים של 1-15 שנה של התאוששות חברת החי למצב באתרי ייחוס, כתלות בעצמות הגאות

Johnson, Scott, Stone & Love. (1998). Avoidance behavior of ovigerous tanner crabs *Chionoecetes bairdi* exposed to mine tailings: a laboratory study. *Alaska Fishery Research Bulletin*, 5(1), 39–45.⁵⁷
 Johnson, Drice & Moles. (1998). Effects of submarine mine tailings disposal on juvenile yellowfin A laboratory study. *Marine Pollution Bulletin*, 36(4), 278–287.⁵⁸
 Germano, Rhoads, Lunz, Science Application International Corporation & US Army, Corps of Engineers. (1994). An integrated, tiered approach to monitoring and management of dredged material disposal sites in the New England region. <http://citebank.org/uid.php?id=99261>⁵⁹
 Occhipinti-Ambrogi & Savini. (2003). Biological invasions as a component of global change in stressed marine ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*, 46(5), 542–551. doi:10.1016/S0025-326X(02)00363-6⁶⁰



והשפל, הגלים, מאפייני הסדימנט, המינים המאכלס המאכלסים ומרחק ההגירה⁴³. באזור הפגוע מתחיל תהליך של סוקסציה, בדומה למתרחש בשדה נטוש. מחקר השוואתי שבוצע בין השנים 1993-1995 בדנמרק, הולנד וספרד (Costa Daurada, ים תיכון) מצא תהליך שיקום שארך 2-4 שנים באתרים בים הצפוני, אך השיקום של האתר הים תיכוני היה איטי יותר ולא הסתיים אף לאחר שש שנים מסיום הכרייה²¹.

באזור האי וויט, בתעלה האנגלית, ישנו **אזור אנרגטי מאוד**, הנכרה ללא סינון של הסדימנט. שם נמצא שיקום מהיר של עד 3 שנים³² (איור 20).



איור 20. דיאגרמה כללית של תהליך התאוששות לאחר כרייה באתר המאפיין בזרמים או גלים חזקים³².

השפעה ארוכת טווח על הסביבה הפיזית

בישראל, החולות הם החומר הבונה את חופי הים החוליים והמגן על החופים המצוקיים מפני בלייה. קיימת עלייה בדרישה לחול עבור פיתוח ימי והגנה על החופים בישראל ובעולם כולו. כריית חול חופי בישראל נאסרה בשנת 1964 בחוק הזיפיף. אך גם משאבי החול בעורף החוף מוגבלים ולכן הוסט הזרקור אל הים.

כריית חול ימי עלולה לגרום לשינוי בתהליכים פיזיקליים גם באזורים בסמוך לחוף. קצב הכרייה וסך החומר הנכרה ביחס לתנאי הסביבה המקומית, כגון, מיקום במרחב של זרמי הסעת החול, קצבי הסדימנטציה, ופעילות הגלים הם בעלי חשיבות מיוחדת להשפעה הפיזית על הסביבה המיידית של הכרייה ועל ההשפעה העקיפה על קו החוף. כרייה של חול במדף היבשת החיצוני משפיעה על גובה הגלים המגיעים לחוף,





ועל הסעת הסדימנטים⁶¹. כריית חול בחוף ובים הם חלק מהגורמים לירידה בנפח הסדימנט בסביבה החופית שהוא גורם עיקרי להאצה בתהליך הארוזיה החופית^{62,63}. במצב של עליית מפלס פני הים, ובמצב של שינויים גיאולוגיים מקומיים השפעה של גובה הגלים עלולה להגביר עוד יותר את תהליך הארוזיה⁶⁴.

קשה מאוד להפריד את ההשפעה של תהליכים טבעיים של בלייה, פיתוח תשתית חופית (נמלים, מרינות וכד') והשפעת הגנות חופיות על התהליכים הפיזיקליים בקרבת החוף מהשפעות של כריית חול ימי, ולכן משתמשים במודלים ממוחשבים הלוקחים בחשבון את מיפוי הקרקעית הימית (בתימטריה), משטר הרוחות, הזרמים והגלים בכל אתר ואתר על מנת להעריך את ההשפעה של הכרייה על גלי החוף, על זרמי הסעת החול, ואת השפעת שני גורמים אלה על בנייה או בלייה של החוף^{65,63}.

שינויים בבטימטריה עשויים להוביל לשינויי משטר הגלים ובעקבותיו לשינויים חופיים. כמו כן כרייה באזורים של רכסים תת ימיים עשויה לשנות את משטר הגלים והזרמים באזור.

שינויים בגובה הגלים

מודלים ממוחשבים מראים שלכריית חול במדף היבשת השפעה על גובה הגלים. נמצאו שינויים בגובה הגלים מאתר הכרייה ועד לחוף, המתבטאים בהתאבכות בונה (עלייה בגובה הגלים) והתאבכות הורסת (ירידה בגובה הגל) ביחס למצב לפני כריית החול במקומות שונים. לדוגמא, במודל שהריצו עבור אתרים מול ניו ג'רזי, ארה"ב⁶⁶, השינוי בגובה הגלים היה $\pm 3\%$ עד $\pm 15\%$ ובאלבמה נמצא שינוי מקסימלי של 20%, אך עיקר השינוי היה מוגבל לעומק של 15 מ'. עלייה בגובה הגלים בחוף עלולה לגרום להגברת ההסעה של החול מהחוף (תת פרק הבא, שינויים בהסעת סדימנט).

Byrnes, Hammer, Thibaut, & Snyder. 2004a. Effects of sand mining on physical processes and biological communities offshore New Jersey, USA. *Journal of Coastal Research* 20(1), 25–43. [http://jcronline.org/doi/abs/10.2112/1551-5036\(2004\)20%5B25:EOSMOP%5D2.0.CO%3B2](http://jcronline.org/doi/abs/10.2112/1551-5036(2004)20%5B25:EOSMOP%5D2.0.CO%3B2).

Salman, Lombardo & Doody. 2004. Living with Coastal Erosion in Europe- Sediment and Space for Sustainability. Edited by European Commission. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities. <http://repository.tudelft.nl/view/hydro/uuid:483327a3-dcf7-4bd0-a986-21d9c8ec274e/>

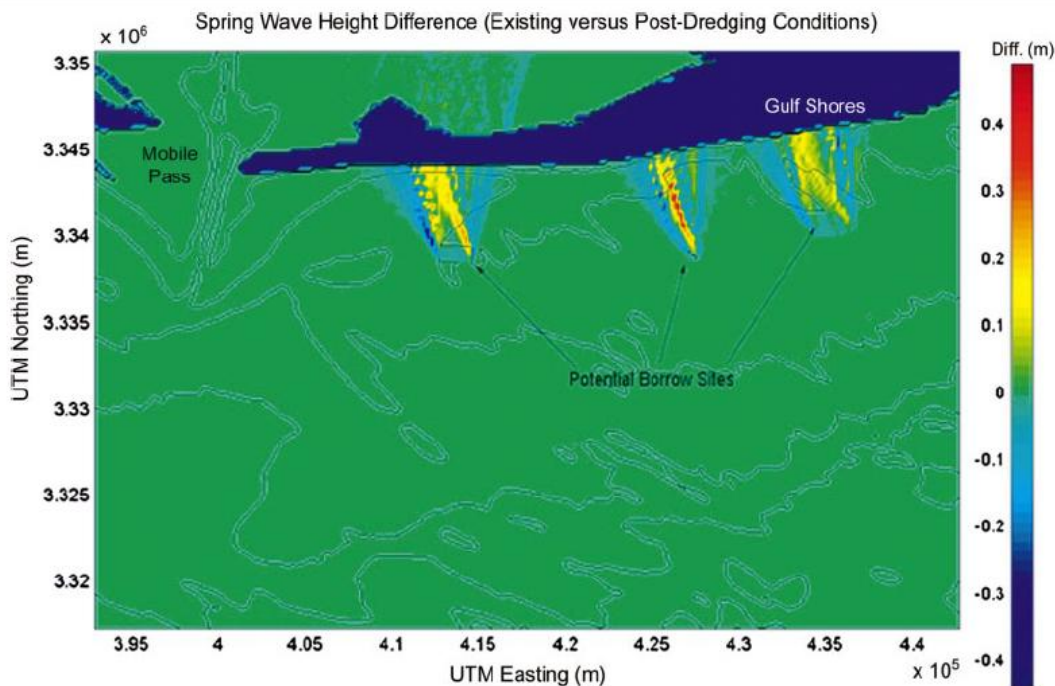
Kortekaas & Bagdanaviciute. 2010. Assessment of the Effects of Marine Aggregate Extraction on the Coastline: An Example from the German Baltic Sea Coast. *Journal of Coastal Research* SI 51, 205-214pp. <http://www.vliz.be/imisdocs/publications/223043.pdf>

Pilkey, O.H., and K. Dixon. 1996. *The Corps and the Shore*. Island Press, Washington, D.C.

Kelley, Ramsey and Byrnes. 2004. Evaluating Shoreline Response to Offshore Sand Mining for Beach Nourishment. *Journal of Coastal Research* 20(1), 89-100. [http://jcronline.org/doi/abs/10.2112/1551-5036\(2004\)20\[89:ESRTOS\]2.0.CO;2](http://jcronline.org/doi/abs/10.2112/1551-5036(2004)20[89:ESRTOS]2.0.CO;2).

Byrnes, Hammer, Thibaut and Snyder. (2004b). Physical and Biological Effects of Sand Mining Offshore Alabama, U.S.A. *Journal of Coastal Research* 20(1): 6–24. doi:10.2112/1551-5036(2004)20[6:PABEOS]2.0.CO;2.





איור 21. שינוי בגובה גלי חוף כתוצאה מכרייה.⁷

שינויים בהסעת סדימנט לאורך החוף

הסעת החול בחוף הישראלי, ברובה המוחלט, קורית בחורף, בזמן בו הגלים הם הגבוהים ביותר⁶⁷ והינה מאוד מושפעת מכיוון החוף⁶⁸. שטפי הסעת החולות הם הגבוהים ביותר באשקלון (מוערכים בכ- 400×10^3 מטר מעוקב, נטו שנתי), והולכים ויורדים ככל שמצפינים (בחיפה מוערכים בכ- 90×10^3 מטר מעוקב, נטו שנתי⁶⁸). צביאלי וחובריו מעריכים כי קצבי הסעה אלה לא השתנו בצורה משמעותית לפחות ב- 7900 השנים האחרונות למרות סכירת הנילוס⁶⁹.

מודלים ממוחשבים של הסעת חולות מוצאים שכרייה ימית גורמת לירידה בנפח החול המוסע בזרמי הים. היקף השינוי בהסעת הסדימנט משתנה מאתר לאתר כפונקציה של תנאי הכרייה ותנאים סביבתיים, כגון זרמים ועומק המים, והוא נע בין זניח ללא מתקבל על הדעת (סך עליון ותחתון) (שרירותי) שנקבע על מנת לאשר אתר כרייה במודל זה הוא חצי סטיית תקן מהמוצע של הסעת החול)⁶⁵.

Rosen. (2001). A Summary of the environmental and hydrographic characteristics of the Mediterranean coast of Israel. IOLR, Haifa. <http://www.ocean.org.il/heb/ documents/4.pdf>⁶⁷

Perlin and Kit. (1999). Longshore Sediment Transport on Mediterranean Coast of Israel. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering. March/April, 80–87. [http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(1999\)125:2\(80\)](http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/(ASCE)0733-950X(1999)125:2(80)).⁶⁸

Zviely, Kit & Klein. (2007). Longshore Sand Transport Estimates Along the Mediterranean Coast of Israel in the Holocene. Marine Geology 238(1-4): 61–73. doi:10.1016/j.margeo.2006.12.003. <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025322706003628>.⁶⁹





במחקר שנערך במספר אתרי כרייה בניו ג'רזי נמצא: אתר הכרייה הצמוד לחוף השפיע על הסעת הסדימנט החופית, בכך שיצר שוני של עד 20% בהסעת הסדימנט השנתית⁷⁰.

טבלה 1. שינוי בנפח הסעת החול בתנאים משתנים.

מקור	ירידה בנפח הסעה	מיקום	עומק הכרייה	נפח כרייה (מיליון מ' מעוקב)	עומק האתר
(Byrnes et al. 2004b) ⁶⁶	8-10%	דלתת נהר, אלבמה	3 מ'	8.4-5.8	18-10 מ'
(Byrnes et al. 2004a) ⁶¹	בקושי נמצאה השפעה	ניו ג'רזי, איי מחסום,	3-4 מ'	8.8 -2.1	10-20 מ'
(Kortekaas and Bagdanaviciute 2010) ⁶³	השפעה מסיבית של זרמי קרקעית מזדמנים	גרמניה, הים הבלטי, חול ממקור ארוזיה חופית	0.5 מ'	לא ידוע, עשרים שנה	8-13 מ'

האצת הבלייה של קו החוף (ארוזיה)

בלייה מוגדרת כאבדן ארוך טווח של קרקע חופית וכיבושה בידי הים⁶². היא נמדדת על ידי מדידת שינוי ממוצע לשנה בין קו חוף ביום מסוים ביחס לקו ייחוס קבוע (קו בסיס) לאורך תקופה ארוכה, על מנת להימנע מהשפעות של אירועי סערה ודינמיקה מקומית של הסעת סדימנט. בלייה של קו החוף הינה תהליך טבעי בחוף הישראלי, אך התשתיות החופיות יצרו במקרים רבים קו חוף צר. חופים טבעיים חוליים ומצוקיים רבים נכבשו על ידי הפיתוח החופי וההגנות הימיות המלאכותיות, דבר שגרם להעלמות מערכות אקולוגיות דינמיות.

ניתן לתאר שתי דרכים עיקריות בהן כרייה ימית עשויה להשפיע על שינויים לקו החוף (בלייה או בנייה): (1) אתר כרייה מפריע או משנה את דרכי אספקת הסדימנט לחוף ומוריד את מאזן החול בחוף, או (2) שינויים לדפוסי הגלים משנים את אופי הגלים המגיעים לחוף, משנים את הסעת החול ואת דפוסי ההצטברות והבלייה⁷¹. "השינויים ההידרודינמיים שיוצרים הבורות, יוצרים ערבול מוקדם בעת תנועת הגל בסביבת החופית ע"י כך בסופו של דבר גורמים לשינוי בצורת קו החוף"⁷².

⁷⁰ Byrnes, Hammer, Thibaut & Snyder. (2004). Effects of sand mining on physical processes and biological communities offshore New Jersey, USA. *Journal of Coastal Research*, 25-43.

⁷¹ Nairn, Johnson, Hardin & Michel. (2004). A Biological and physical monitoring program to evaluate long-term impacts from sand dredging operations in the United States outer continental shelf. *Journal of Coastal Research* 20(1): 126-137. [http://jcronline.org/doi/full/10.2112/1551-5036\(2004\)20%5B126:ABAPMP%5D2.0.CO%3B2](http://jcronline.org/doi/full/10.2112/1551-5036(2004)20%5B126:ABAPMP%5D2.0.CO%3B2).

⁷² Otay, Work & Börekçi. (2003). Effects of marine sand exploitation on coastal erosion and development of rational sand production criteria. Bogazici University, Turkey.



דפוס הגלים המגיעים לחוף עלול להשתנות בעקבות אתר כרייה בעומק, באופן הבא:
(1) שינויי בכיוון הגל (2) שינוי בגובהו (3) שנוי בשבירתו (4) שינוי בצורת התפשטותו
(5) שינוי בחזרות הגלים (6) שנוי היחסים בין הגלים לזרם.⁶⁵

במחקר שנערך בני ג'רזי שבחן את השפעת אתרי כרייה על הארוזיה של החוף החוקרים סיכמו: 'האפקט הפוטנציאלי של אתרי הכרייה על החוף, הוא בהגברת אנרגיית הגלים המגיעים לקו החוף, ויצירת "נק' חמות" (hot spots) של ארוזיה'.⁷⁰

"נק' חמות" של ארוזיה נוצרות כתוצאה מריכוז אנרגיית הגלים באזורים ספציפיים לאורך קו החוף". ניתן לחזות את אזור "הנק' החמות" ע"י סקרים מסורתיים או ע"י מודלים מתמטיים.⁷³

מירב הדוגמאות לכריית חול שגרמה לבלייה של החוף מבוססות על כרייה בתחום המים הרדודים והתחום המושפע במישרין על ידי ההסעה החופית של הגלים. התמונה הבאה מראה צלקות של כריית חול בחוף אשדוד.



איור 22. צילום אוויר מ-1958 המראה צלקות כרייה חופית בחוף אשדוד.

ידוע מזה כשני עשורים כי החוף הישראלי עובר אירוזיה מתונה אך מתקדמת. עדות ברורה לכך הם אתרים ארכיאולוגיים פרההיסטוריים שהיו קבורים ומוגנים תחת שכבת חול עבה נחשפו בים לראשונה בשנות ה-80 של המאה הקודמת.^{74,75}

גוליק וחובריו⁷⁶ הראו כי שתי פעילויות עיקריות תרמו לתהליך זה: כריית חול בחוף ובניית מבנים מלאכותיים בקו החוף. כריית החול מצרה את קו החוף עד לעיתים העלמות של החוף החולי כליל. נזק זה הוא לטווח של עשרות רבות של שנים.⁷⁷

Work & Otay. (1996). Influence of nearshore berm on beach nourishment, Proc. 25th Intl.Conf. on ⁷³ Coastal Eng., ASCE, New York, NY, 3722-3749.

Galili, Weinstein-Evron & Ronen. (1988). Holocene sea-level changes based on submerged ⁷⁴ archaeological sites off the northern Carmel coast in Israel. Quaternary Research 29(1) (January): 36-42. doi:10.1016/0033-5894(88)90069-5.

<http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/0033589488900695>.

Perrot & Gopher. (1996). A late neolithic site near Ashkelon. Israel Exploration Journal. ⁷⁵ <http://www.jstor.org/stable/10.2307/27926432>.





בעבר הומלץ על ידי משרד התשתיות הלאומיות שלא לכרות חול בחופי הארץ בעומק הקטן מ-30 מ' בשל החשש להשפעה שלילית על הסביבה⁷⁸: " ...אפשרות כרייה של חומר בלתי מלוכד בעומקי מים הקטנים מ-30 מ' תהייה אפשרית רק לאחר שנושא תנועת החול לאורך חופי המדינה ייחקר בצורה מעמיקה יותר והנתונים שיאספו יאפשרו חיזוי אמין יותר של התהליכים המורפולוגיים." אך גם למודלים חסרונות ברורים⁷⁹.

מקרה בוחן מגרמניה

נקח כדוגמה עבודה של Kortekas & Bagdanaviciute מהחוף הבלטי (גרמניה)⁶³. חוף זה הדומה בכמה ממאפייניו לחוף הישראלי, הינו בעל גאות ושפל מינוריים, אך זרמי סערות גבוהים, ומקור החול מוגבל לארוזיה של קו החוף ולא לנהרות. במקרה זה אתר הכרייה ממוקם מחוץ לאזור הסעת החול כתוצאה מפעילות הגלים (הסעת החולות מוגבלת לעומק 4 מטר) ופעילות הכרייה מתרחשת בעומק 8-13 מ' לאורך עשרות שנים בשאיבה ניידת שמסירה כל פעם שכבה של 0.5 מ' עומק.

במחקר זה אספו מיפויי קרקעית (בתימטריה) מתקופה שלפני כריית החול (1976-1979) ומתקופה שאחרי כריית החול (1996-2002), והזינו לתוך מודל ממוחשב, יחד עם נתוני גלים וזרמים על מנת לבדוק השפעת השינויים בתימטריה על זרמי ההסעה של החול. לא נמצאה השפעה ישירה של פעילות הכרייה על הרבדת החול החופי בגלי הים, ועל ההגנה על החול. אבל עדיין **אתרי הכרייה מתמלאים תוך חודשים ספורים מתום הכרייה**. כמו כן השינויים התימטריים שנצפו לאורך עשרות שנים מתרחשים עד עומק 10 מ'.

Kortekaas and Bagdanaviciute מצאו שביומיום, מרבית האנרגיה כתוצאה משינוי במשטר הגלים מתפזרת לפני שהיא מגיעה לחוף, אך **השינוי במשטר הגלים משפיע משמעותית על הסעת החול בעת סערות**.

Kortekaas and Bagdanaviciute הראו עוד (איור 23), כי **קיימת ירידה משמעותית בנפח ההסעה החופית כתוצאה משינויים קלים בתימטריה (1 עד 2 מ')**. הם מסבירים כי מקור החול היחיד במערכת הוא מבלייה של החופים והמצוקים החוליים לאורך החוף וכי אירועים חריגים של זרמים חזקים (100-70 ס"מ לשנייה) המתרחשים אחת לכמה חודשים/שנים הם שאחראים להסרת הסדימנט מהחוף ולהרבדתו באתרי הכרייה. כלומר, במקרה זה, כרייה הובילה למילוי אזור הכרייה על חשבון האזור החופי.

⁷⁶ Golik, Rosen & Golan. (1996). Ashdod port's effect on the shoreline, seabed and sediment. Coastal Engineering Chapter 33: 4376-4389.

<http://journals.tdl.org/icce/index.php/icce/article/viewArticle/5555>.

⁷⁷ . Threats to sandy beach ecosystems: A review. Estuarine, Coastal and shelf science. 81(1): 1-12. doi:10.1016/j.ecss.2008.09.022.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272771408003752>.

⁷⁸ Golik & Rosen. (1999). Management of Israeli coastal sand resources. IOLR report No. H28/1999.

<http://www.ocean.org.il/eng/documents/205.pdf>

⁷⁹ Klein & Zviely. (2001). The environmental impact of marina development on adjacent beaches: a case study of the Herzliya marina, Israel. Applied Geography.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0143622801000054>.





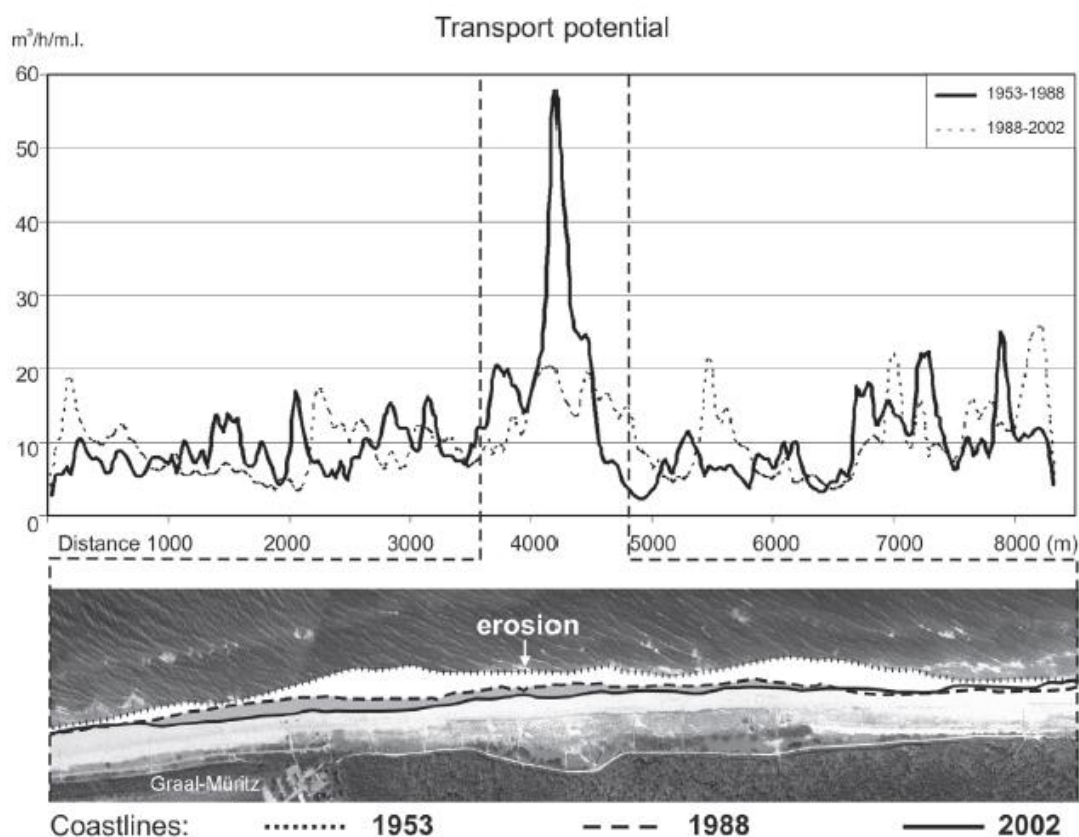
בכל מקרה של כרייה יש לבחון לפיכך את הזרמים באזור, בעיקר בסערות קשות ולבנות מודלים שיתנו תוצאות לגבי הסעת החול שתתרחש.

במקום בו ירד משמעותית פוטנציאל ההסעה של החולות נוצרה בלייה של קו החוף (איור 23). אך כפי שנטען בעבר⁶¹ גם במקרה זה, Kortekaas and Bagdanaviciute ייחסו את מרבית השינויים שחלו בקו החוף למבנים המלאכותיים וההגנות לאורך החוף. המסקנה שלהם היתה **שחול שנכרה למטרת מילוי חופים ישאר במערכת החופית, אך חול שהוצא מהמערכת לא יחזור אליה ויתבטא בהשפעה שלילית על מאזן החול בחוף.**

השפעה של בלייה של החוף היא משמעותית בייחוד בישראל כיוון שחופים חוליים נשטפו יחד עם חברת החי והצומח שעליהם. לדוגמא, בסקר ביולוגי שנערך בספטמבר 1986 במסגרת תסקיר השפעה על הסביבה שנערך עבור פרויקט הקמת המרינה באשקלון, מתואר חלק החוף היבשתי של אזור המעגנה באשקלון כבנוי ממספר רצועות אורך במקביל לקו החוף: רצועה חולית רטובה, שמאחוריה חוליות (דיונות) ברוחב עשרות מטרים ספורים שמגיעות עד למרגלות מצוק הכורכר⁸⁰ (שיקלר, 1986). מאז, אזור החוף של העיר אשקלון עבר בלייה משמעותית (שמיוחסים להשפעת המבנים המלאכותיים הימיים) והחי והצומח בחוליות המזכרים אצל שיקלר, חברת המלחית האשלגנית ולפופית החוף של החול הלח וחברת מד החול הדוקרני והלוטוס המכסיף בחול היבש נשטפו עם החוליות מהאזור. בנוסף חשוב לציין העדר הטלות של צבי הים ברצועת החוף הצרה.

⁸⁰ שיקלר. (1986). חי וצומח- סקר ביולוגי במסגרת תסקיר השפעה על הסביבה למעגנה באשקלון.





איור 23. מודל גרמני שבחן את פוטנציאל הסעת החול כתוצאה משינוי טופוגרפיה של הסדימנט הימי בעקבות כרייה ימית מצא ירידה בהסעת החולות (גרף עליון, הגרף המנוקד, ביחס לפוטנציאל לפני הכרייה) באתר שבו נצפתה בפועל בלייה של החוף (תצ"א משנת 1953 לעומת קוי החוף משנת 1988 ו-2002).⁶³

הגברה של הבלייה החופית

באזורים בהם ישנה כריית חול ימי עולה הסיכון להשפעות עקיפות על האזור החופי.⁶²

- (1) בלייה של ההגנה הטבעית על החוף, החוליות (דיונות) באירוע סערה אחד, עשוי לגרום להצפה של פנים היבשה.
- (2) אבדן קרקע בעלת חשיבות חברתית, כלכלית, או אקולוגית, כגון הרס המצוק החופי, שבהכרח מוביל לפעילות למיגון חוף והמשך פגיעה במערכת האקולוגית.
- (3) ערעור הגנות חופיות מלאכותיות, והצפה של השטחים מאחורי ההגנות.





חלקים נרחבים התמוטטו. נמל קיסריה (צילומים: החברה לפיתוח קיסריה)



עוצמת הגלים מוטטה אבנים מהנמל. הסערה בחוף קיסריה, היום

איור 24. ההרס בקיסריה בסערה של דצמבר 2010. מתוך <http://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-3998016,00.html>



146

JEAN PERROT AND AVI GOPHER



Fig. 1. The Ashkelon sea-shore site.

איור 25. חוף אשקלון, אתר ארכיאולוגי "אשקלון ים" בשנת 1955⁷⁵. יש לשים לב לרצועת החול הרחבה ולמצוק היציב. היא הוערכה ברוב של עשרות מטרים. כיום החוף הוצר מאוד ובחורף המים מגיעים לבוהן המצוק, וגורמים להתמוטטותו. באר שהייתה שלמה בתוך המצוק בזמנו נחשפה לחלוטין ונמצאת בשלבי התמוטטות.



איור 26. המצוק באשקלון אוגוסט, 2013. הגנות חדשות וישנות למצוק נשארו ללא המצוק, בעקבות התמוטטותו (צילום: אורית ברנע).



טבלה 2 - תיאור התופעות הפיזיקאליות הפוטנציאליות והשפעתם על הסביבה כתוצאה מפרויקט כרייה⁸¹

Physical Change	Potential Environmental Effect	Examples of Impact
The presence of dredging equipment	User conflicts	Obstacles to navigation and fishing activities, lights at night
	Noise and vibration under water	Disruption of fish migration, disturbance to marine mammals
	Noise and vibration above water	Nuisance to local community, disturbance to birds
	Impacts on water quality	Oil and fuel spillage
	Altered air quality	Exhaust emissions
Sediment removal	Ballast water	Invasive species
	Altered benthic habitat	Net loss of habitat
	Mechanical removal of biota	Loss of valued organisms (e.g., prey resources)
	Hydraulic entrainment	Loss of individuals (e.g., sea turtles)
	Disturbed cultural resources	Archaeological remains
Altered topography/bathymetry	Safety	Ordnance, pipelines, sulphide release
	Altered hydrodynamics and sedimentation	Erosion of intertidal flats
	Altered hydrology and salinity regime	Changes to species distribution, e.g., wetland loss, movement of spawning grounds
Re-suspension of sediment matrix into water column	Release of particulate matter	Behavioural / physiological responses to increased suspended solids (e.g., physical abrasion, visual effect of plume), effect on water intakes
	Reduced light penetration	Behavioural / physiological responses to increased turbidity (e.g., loss of growth for eelgrass beds, reduction in primary productivity for phytoplankton)
	Release of nutrients	Behavioural / physiological responses to enrichment (e.g., algal bloom)
	Release of toxic chemicals	Behavioural / physiological responses to contaminants (e.g., bioaccumulation of metals in fish)
	Release of organic matter	Behavioural / physiological responses to dissolved oxygen depletion
	User conflicts	Aesthetics, diving, fishing
Sedimentation induced by dredged material placement	Smothering of biota, altered benthic habitat	Impact on fish spawning grounds, shellfish beds, submerged aquatic vegetation
	Morphological change	Change to geometry of system
Rock blasting	Shock waves	Physiological response

השפעות עקיפות על האקולוגיה של החוף

שינוי איכות הסדימנט באתר הפריקה של החול

החול מכרייה ימית נשאב לעיתים לחוף והשאריות מתהליך הסינון נשארות בחוף ומשנות את פרופיל החוף ואת הרכב הסדימנט מבחינת גודל גרגר⁸².

חופים חוליים הם סביבות דינמיות מבחינה פיזית המוגדרות על ידי שלושה משתנים: אנרגיית הגלים, טווח הגאות וגודל גרגר. האינטראקציה של שלושת הגורמים האלה יוצרים טיפוסים שונים. ככל שאנרגיית הגלים או הגאות גדלה או ככל שגודל הגרגר קטן החופים הופכים רחבים יותר בעלי שיפוע מתון יותר ובעלי יכולת פיזור

PIANC (2008). Report nr. 100: Dredging management practices for the Environment /A structured selection approach. Brussels, Belgium. ⁸¹

Brown & McLachlan. (2002). Sandy shore ecosystems and the threats facing them: Some predictions for the year 2025. Environmental Conservation 29(01): 62-77. ⁸²
doi:10.1017/S037689290200005X.
http://www.journals.cambridge.org/abstract_S037689290200005X.





אנרגיה גבוהה⁸³. מגוון ועושר המינים עולה ככל שיכולת הספיגה של האנרגיה גדלה. במפרץ אליזבת, נמיביה, שפיכה בחוף של שאריות גסות מכרייה גרם לשינוי בשבירת הגלים, ליצירת פרופיל חוף תלול יותר ולאובדן רב של החי⁸³.

פיזור ושקיעה של סדימנט מזוהם שהיה קבור ונחשף על ידי הכרייה יגרום לירידה באיכות הסדימנט בחוף על ידי שינוי ערכי החומר האורגני בו, שינוי ריכוזי הנוטריאנטים, והמצאות מתכות כבדות⁸⁴. שינויים בכימיה של הסדימנט יוביל להשפעה על המערכת האקולוגית בכללותה.

שינויים בהרכב הסדימנט (גדלי הגרגרים) עלול לשנות את הרכב החיי והצומח למשל ע"י החלפת סרטנים בתולעים⁸⁵.

בעקבות העמקת אתר הכרייה כמות אנרגיית השמש שתגיע לאותה קרקע תופחת, דבר שעלול להפחית את כמות היצרנות הראשונית ובכך יהווה גורם לשינוי הרכב החיי הצומח באזור⁸⁶.

אזור הכרייה (הוא בוצי ואנארובי) עלול להתמלא בתרכובות אורגניות מפורקות וכך לגרום לעליית רמות מימן גופרתי שיובילו את אזורי הכרייה להיות אנוקסים (מצב של חמצן קשור- לא מאפשר קיום של בעלי חיים וצמחים). אזורים שיגיעו למצב זה יתכן ולא יוכלו להשתקם לעולם⁸⁷.

McLachlan. (1996). Physical factors in benthic ecology: Effects of changing sand particle size on beach fauna. *Marine Ecology Progress Series* 131: 205–217. doi:10.3354/meps131205. <http://www.int-res.com/abstracts/meps/v131/p205-217/>.

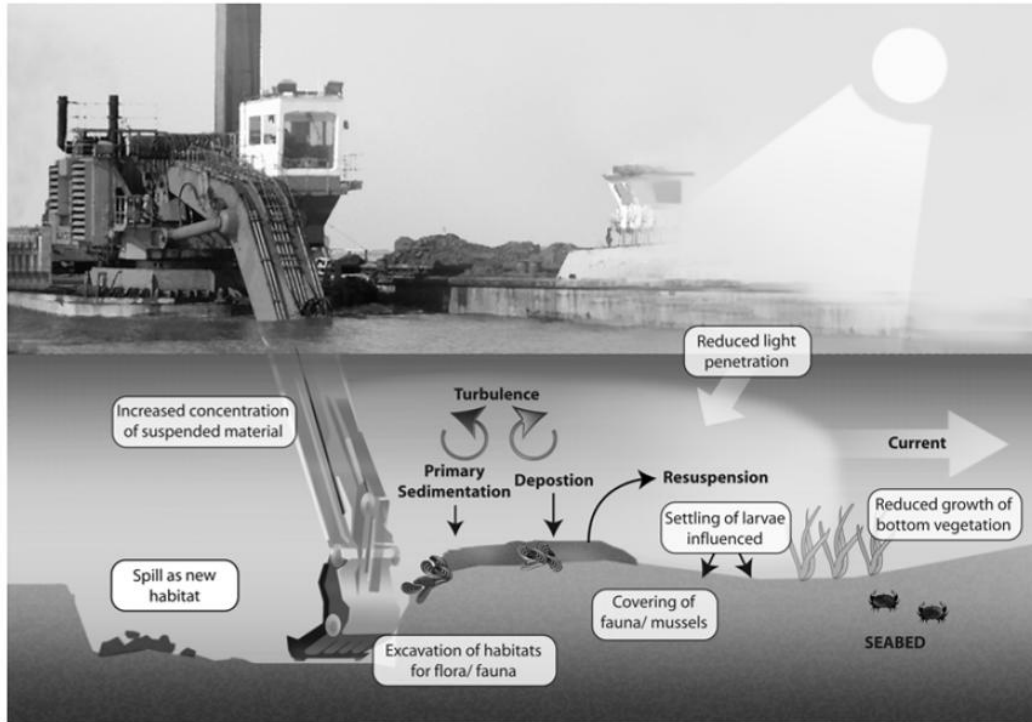
מידר, גנין ושקד. (2013). חוות דעת לתסקיר השפעה על הסביבה לתמ"א 13/ב/1/2 : כריית החול נמל המפרץ. המכון הבינאוניברסיטאי באילת.

Johnson. (1982). The effects of dredging on offshore benthic macrofauna south of the Inlet at Fort Pierce, Florida. Master's Thesis Florida Institute of Technology, June 1982

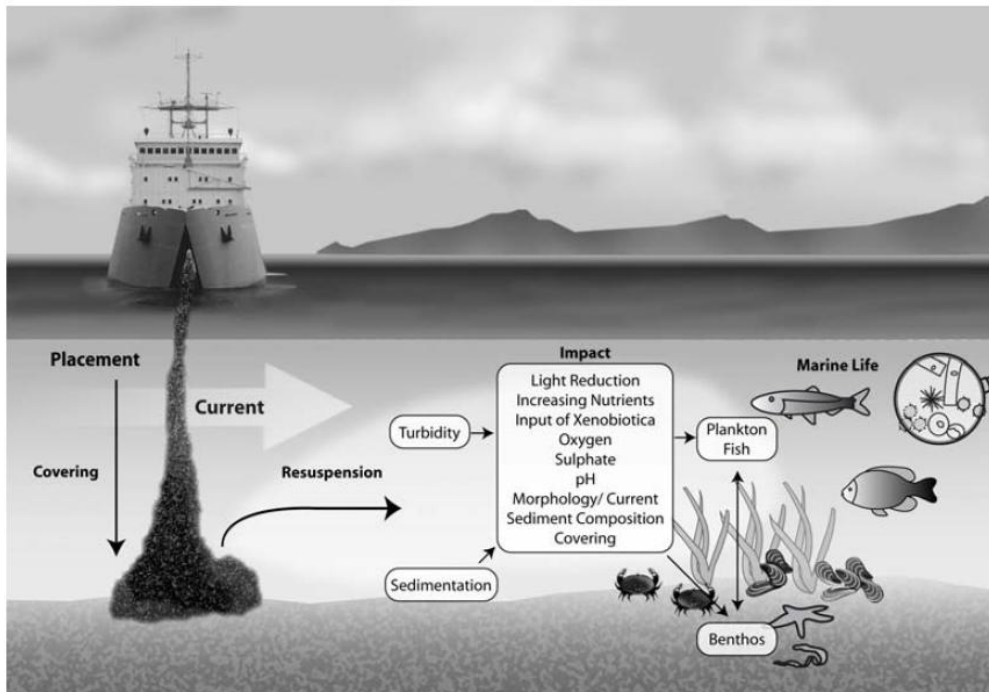
U.S. Department of the Interior/U.S. Fish and Wildlife Service. (2000). Draft fish and wildlife coordination act report. Brunswick County Beaches Project. Ecological Services Raleigh Field Office, Raleigh, North Carolina. 175 pp.

Murawski. (1969). A study of submerged dredge holes in New Jersey estuaries with respect to their fitness as finfish habitat. Miscellaneous Report No. 2M. Division of Fish and Game, New Jersey Department of Conservation and Economic Development.



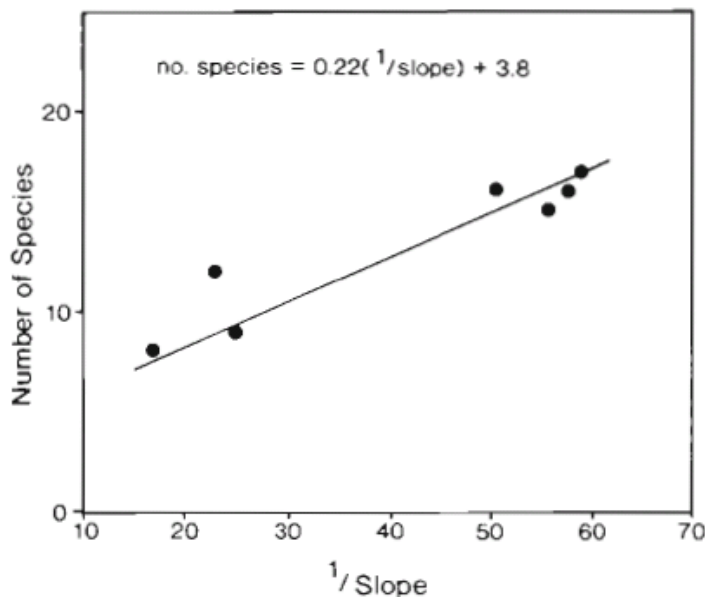


איור 28. ההשפעות הסביבתיות שעלולת להתרחש כתוצאה מכרייה⁸¹



איור 27. ההשפעות הסביבתיות שעלולת להתרחש כתוצאה מהחזרת התסנין⁸¹





איור 29. היחס בין עושר המינים למתינות השיפוע. ככל שהחוף מתון יותר, יכולת ספיגת האנרגיה עולה וכן עושר המינים בחוף⁸⁸.

הזנת חופים בחול (שלרוב נכרה בים) נחשבת כשיטה מועדפת להגן על חופים מפני בלייה. אמנם הזנת חול נחשבת עדיפה מבחינה כלכלית ומבחינת שמירת טבע⁸⁸, והינה בעלת השפעה פחותה בהשוואה למבנים קשיחים שמיועדים להגנה על חופים. אך להזנת חול יש חסרונות בנוסף להשפעת הכרייה גם בחוף שבו נערם החול. שפיכה של חול בחוף, גם אם הוא בעל תכונות דומות לחול המקומי למעשה קובר את בעלי החיים בחוף, ולא לכל בעלי-החיים החיים בחול יכולות והתאמות להחלצות מחול⁸⁹.

השפעות ישירות ועקיפות באתרים ארכיאולוגיים

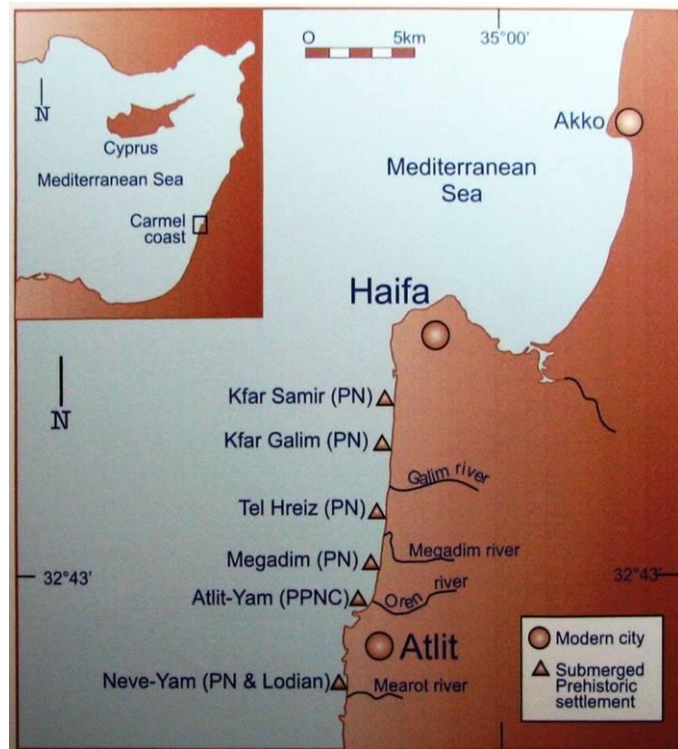
באזורים שנמצאו בזמן זה או אחר בקו השטיפה של גלי החוף יש סבירות מאוד נמוכה למצוא אתרים בסדר כרונולוגי תקין. אזורים אלה מאוד דינמיים. ממצאים פרה היסטוריים מאתרים כאלה יהיו מוגבלים לאבנים וחומרים קרמיים, יוצא דופן לכלל זה יהיו ממצאים תרבותיים באזורים שהיו נתונים לשיקוע של סדימנט צפוף. באזורים שהיו נתונים לפעילות וולקנית או ונתיבי נהרות עתיקים יש סיכוי למצוא אתרים תקינים ארכיאולוגית⁵⁰. דוגמא לאזור כזה נמצאה מול חופי עתלית, במרחבות היסטוריות של נחלי החוף, שם שינויים עכשוויים במשטר הסעת החולות גרמו להסרת החול וחשיפה של אתרים ארכיאולוגיים ימיים בני 8000 שנים שנקברו בביצה טינית בין רכסי הכורכר

Finkl & Walker. (2004). Beach nourishment. In The Encyclopedia of Coastal Science, edited by ⁸⁸ Schwartz, 37–54. Dordrecht: Kluwer Academic.

Chandrasekara & Frid. (1998). A laboratory assessment of the survival and vertical movement of two epibenthic gastropod species, *Hydrobia Ulvae* (Pennant) and *Littorina Littorea* (Linnaeus), after burial in sediment. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 221(2): 191–207. ⁸⁹
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098197001238>.



הטבועים⁹⁰. מפת האתרים המוצפים בחוף הכרמל הצפוני מצורפת להלן. כמו כן טרופות רבות (ספינות טרופות) נמצאו לאורך מדף היבשת הישראלי.



איור 30. אתרים ארכיאולוגיים ימיים מהתקופה הניאוליתית בחוף הכרמל הצפוני⁹⁰.

השפעת כריית סדימנט על אתרים ארכיאולוגיים ימיים עלולה להיות ישירה או עקיפה. ההשפעה הרבה ביותר תהיה בשאיבת החול עם הממצאים עצמם ובפגיעה של ציוד הכרייה, העוגנים וכד'. פגיעה עקיפה קשורה לחשיפה של אתרים. קיים תיעוד בעולם של עשרים ספינות טבועות שנפגעו מפעילות כרייה (נסקר על ידי Research Planning ב-2004). במקרים אחרים נחשפו ספינות שעברו בחינה ותיעוד ארכיאולוגי כתוצאה מהכרייה, ולאחר מכן כוסו מחדש בחול ונשמרו כמעט ללא פגע⁹¹.

בלייה של מצוק הכורכר החופי גורמת להתמוטטות של אתרים הממוקמים על המצוק ובתוכו, כגון אשקלון ים או אפולוניה (בחוף סדני עלי)⁷⁵.

השפעות נופיות / תכנוניות

אפשרות של עלייה בעכירות מי החופים, בעקבות פריקה בחוף של סדימנט דק גרגר, או בעל עומס אורגני או נוטריאנטים גבוה ביחס ליחסי הרקע עשויה להשפיע על מידת השימוש בחופי הרחצה³¹. בנוסף, קיימת אפשרות הבלייה בקו החוף.

Galili, Weinstein-Evron & Ronen. (1988). Holocene sea-level changes based on submerged archaeological sites off the northern Carmel coast in Israel. *Quaternary Research*, 29(1), 36-42. doi:10.1016/0033-5894(88)90069-5

Pedersen. (1972). The Vikings and the Hanseatic merchants: 900-1450. In G. Bass (ed.), *A History of Seafaring Based on Underwater Archaeology*, Walker and Company, New York, pp. 226-252.



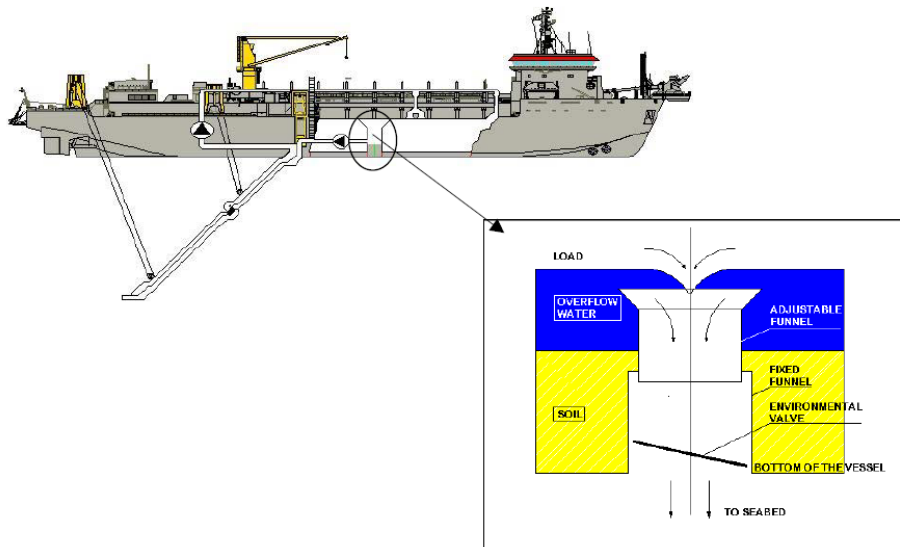
שיטות כרייה "ידידותיות" ופתרונות להשפעות סביבתיות

בדוח סקירה שהוגש לרגולטור האמריקאי מוצעות שיטות וטכנולוגיות העוזרות בהפחתת ההשפעה הסביבתית של הכרייה¹¹.

ציוד מפחית הרחפת סדימנטים

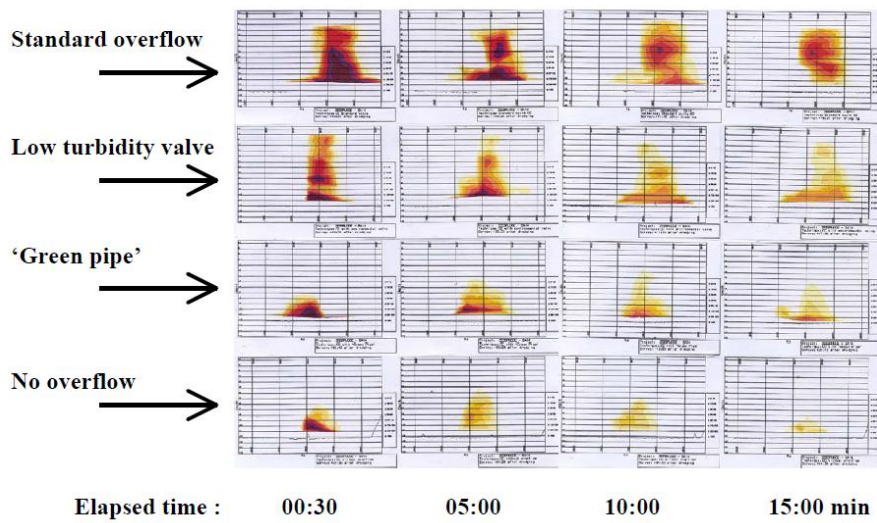
מחפרוני-יניקה מתקדמים מצוידים בצינורות גדולים מעוטי חיכוך. את החול העודף דק הגרגר משחררים דרך פתח בתחתית הספינה. כמו כן קיים שימוש בשסתומים נוגדי עירבול בשחרור הסדימנט בכדי להפחית את השפעת שובל החומר החלקיקי המרחף.

יצרני ציוד פיתחו מערכת סגורה כאשר חומר חפירה נוזלי עודף חוזר לראש החפירה בצורת סילון העוזר בהרמת הקרקע. בכדי שמערכת זו תעבוד בצורה יעילה יש לוודא שצפיפות חומר המטרה הינה מעל 1300 גרם לליטר. יש לציין כי מערכת זו אינה בשימוש נרחב עקב עלות השדרוג של אוניות קיימות וספק רב בקשר לשיפור בפגיעה סביבתית.



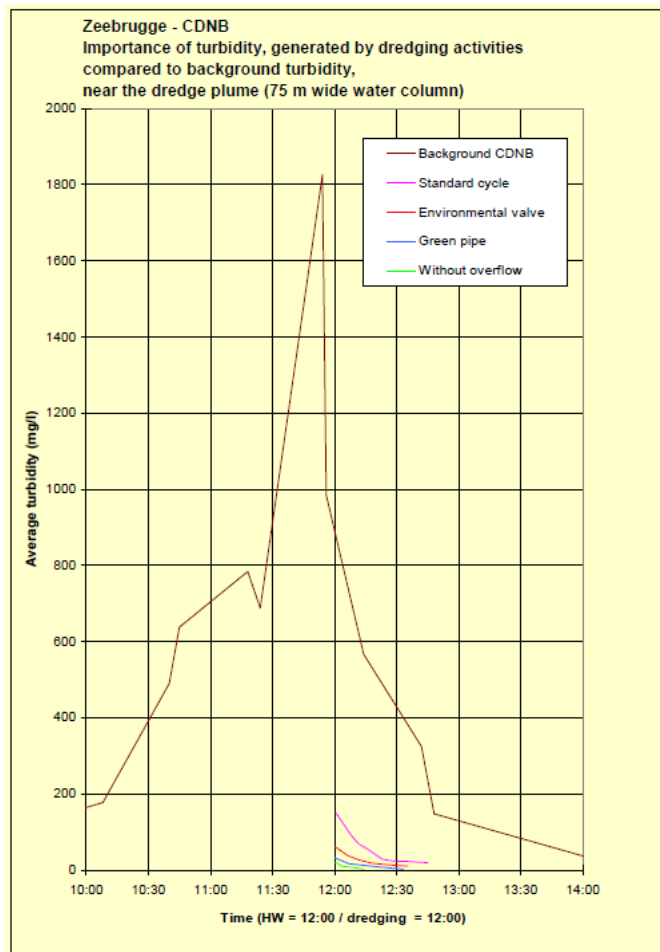
איור 31. שימוש בשסתום מיוחד למניעת ערבול בספינות¹¹.





איור 32. השוואת שובל סדימנטים הנוצר בשימוש בשיטות כרייה שונות¹¹.

עם זאת יש לשים לב שהעכירות כתוצאה מכריית חול עשויה להיות נמוכה מאד ביחס לרקע:



איור 33. עכירות בזמן הכרייה לעומת מדידות עכירות רקע העולה עליהם בסדר גודל¹¹.





מניעת פגיעה בצבי ים

- ישנן שלוש גישות למניעת וצמצום הפגיעה:
- מניעת שימוש בעונות בהן ידוע שצבים נמצאים באזור.
 - שימוש באמצעים דוחי צבים, בעיקר מדובר במיגון פיזי על הראש השואב שמונע מצבים להתקרב לראש.
 - איסוף צבים לפני ותוך כדי העבודה על ידי מכמורתנים ושחרור באזור אחר. יש הוראות מיוחדות לעבודה שכזו.
 - הפעלת המחפרון בצורה שישאר על הקרקעית מירב הזמן.
 - שימוש ברשת סינון גודל עין 10 ס"מ לבחינת הזרם הנכנס לאוניה.
 - מילוי דו"ח על האמצעים והעבודה ועל היתקלות בצבים ושליחתו לרגולטור המתאים.

אזורים לא מופרים בשוליים

השארת אזורים ללא חפירה בסמוך לשבילי החפירה לעידוד התיישבות מחודשת. נושא זה לא נבחן מספיק ויש להשתמש בו באם יתקיימו התנאים הבאים:

1. נוכחות אוסף בעלי חיים ייחודי.
 2. משמעות מסחרית מיוחדת לבעלי החיים באזור החפירה
 3. אזורים בהם הפאונה בקרקעית מוגבלת גיאוגרפית ביחס לגיוס ולאיכלוס מחדש
 4. באזור בו חשיבות שוכני הקרקעית גבוהה לבעלי רמה טרופית גבוהה יותר.
- בכדי שאזורי מפלט שכאלה יהיו יעילים יש להתחשב בציד הכרייה, בשביל החפירה שנוצר, בסדימנטציה הנוצרת ורוחבה. יש לבדוק זאת בשדה ולנטר את התוצאות לאורך זמן בכדי לקבוע האם זה משנה. חובה ליצור בסיס מידע גיאוגרפי אצל הרגולטור עם פירוט מדויק של אזורי הכרייה, שבילי הכרייה ואזורי חיץ ומפלט.

הגנה על אזורים רגישים

יש לחקור את ערכי הסף לסדימנטציה באזור המדובר. ניתן להשאיר אזורי חיץ מבתי גידול רגישים כגון רכסי כורכר. יש לבחון כל אזור לגופו ולהחליט על גודל אזור חיץ המתאים לסוג העבודה וסוג בית הגידול. מספר אחד שיכסה את כל התנאים אינו ישים. יש לנטר את גבולות אזורי החפירה והחיץ בשביל לראות יעילות ובשביל לשלוט על החפירה באם עושה נזקים. יש לדאוג לקביעת רמת סדימנטציה מקסימלית על ידי מחקר. ניתן לקבוע רמה מקסימלית על ידי ניטור מקדים של הסדימנטציה הטבעית באזור, כולל בזמן סערות. ניתן לקבוע ערכים ראשוניים באמצעות מודל שובל הסדימנטים ובעזרת ניטור תוך כדי עבודה. באזורים רגישים ניתן לדרוש שימוש בטכנולוגיה מיטבית כדוגמת שסתום למניעת ערבול באוניה.

באזורים בהם יש רכס חולי הוא עשוי להיות בית גידול חשוב לדגים. יש להימנע מפגיעה ברוחבו ולהיזהר לא לשטח אותו יתר על המידה.





עומק החפירה

כאמור בורות עמוקים עשויים להתכסות בשכבת טין ואף ליצור תנאים אנוקסיים. עומק החפירה המקסימלי צריך להיות תלוי בתנאים הראשוניים. אם האזור כבר מכוסה בטין הרי שאין דאגה לנושא.

באזור חולי יש ליצור בורות רדודים ולעקוב אחר שקיעת הטין. יש להשאיר את הבור רדוד דיו בכדי לאפשר איכלוס מחדש וגם בכדי לכרות שם בשנית. כיסוי החול בטין אינו רצוי.

העומק המינימלי למחפרון יונק הינו 1 מטר ולמחפרון חותך 2 מטרים. העומק המקסימלי תלוי מיקום ותנאים התחלתיים.

תקנים

בארצות הברית קיימת תקנה שעכירות המים כתוצאה מעבודת המחפרון לא תעלה ב- 29 יחידות (NTU) (Nephelometric Turbidity Units) על עכירות הרקע. מספר זה מגיע ממדינת פלורידה. המדידות מתבצעות במרחק של מקסימום 150 מטרים במורד הזרם מהמחפרון. בפני המים במרכז ובקרקעית. עכירות הרקע נמדדת קילומטר במעלה הזרם מהמחפרון במרכז עמודת המים. במדינות אחרות בארה"ב קיימים מספרים אחרים. לרוב בין 20-50 NTU והדעות חלוקות בקשר להצדקה המדעית של מספר מסוים אחד שיהיה נכון לכל האזורים בכל התנאים.

באירופה דואגים בעיקר מהשקעת הסדימנטים ופחות מהעכירות שלה טווח זמן קצר יחסית. באופן כללי עכירות המים נתפשת כדאגה משנית מכיוון שדגים ובע"ח ניידים יכולים לחמוק מאזורים בעלי עכירות גבוהה. הקשר בין עכירות המים לבין השקעת הסדימנט בפועל גם הוא אינו מוכר היטב ומדידה נקודתית של העכירות אינה טובה מספיק במרבית המקרים.

כדאי לנקוט בגישה של מדידות ישירות של השקעת סדימנט לאורך זמן אשר ישקפו השקעה גם בסערות. יש להתאים את ערכי העכירות והשקעת הסדימנטציה המותרים לערכים נמדדים אלו. יש למדוד במשך שנה-שנתיים.

נהוג להכריז על 500 מטרים אזור חיץ מארכאולוגיה ימית.

המלצות מהעולם

הגנה לצבים בראש המחפרון

יצירת אזורי בופר מסביב לאזורים רגישים כמו רכסי כורכר.

בחוזה יש לדרוש שלאוניית המחפרון תהיה סירת ליווי לסקר הקרקעית עם מולטי-בים אשר תתן את הנתונים לרגולטור.

אוניות המצוידות בשסתום נגד עירבול יוצרות פחות הרחפה של סדימנטים.

יש לנטר את הסביבה לפני, במשך ולאחר הכרייה. גם מבחינה ביולוגית וגם פיזית בכדי ללמוד ולהסיק מסקנות לגבי עבודות עתידיות.





המלצות מהעולם לצמצום ההשפעה על הסביבה ועל אתרי מורשת

ההמלצות הבאות נכתבו בהתייחסות למניעת פגיעה בבתי גידול של דגים מסחריים⁴² ועיקרן: יש להמנע מכריית חול באזורים המכילים בתי גידול יחודיים או רגישים בקרקעית (כגון, איזורי הטלה, מרעה, אזורים בהם יש חצץ/ אבנים)

יש לאפיין בצורה מקיפה את האזור המועד לכרייה ואת משאבי הטבע בו לפני מתן היתר. יש להשתמש באפיון האתר, המידול וההערכות על מנת לקבוע את מימדי הכרייה, ועומקה כך שהשיקום והאכלוס מחדש בחי וצומח יהיו המהיר ביותר והמלאים ביותר.

יש להשתמש במודלים על מנת לאפיין הרחפה ופיזור של סדימנט במהלך פעולות הכרייה. יש להשתמש בפלטי המודלים על מנת לתכנן את עבודות הכרייה בים כך שיקטינו ככל שניתן את השפעתם על משאבי הדייג ועל מנת לצמצם את השטח שיושפע. יש צורך בהגדרה מדויקת של המודלים המתאימים, כיצד נכיל אותם וכיצד נאמת את הנתונים.

לדוגמא, על מנת לצמצם את טווח הפגיעה בסביבת הכרייה של תמרת החומר המרחף במים כדאי להשתמש במתקנים המזריקים את המים ואת הסדימנט הדק מתחת לספינת הכרייה, ובכך מאפשרים להרבדה של הסדימנט באזור הכרייה. או באם יש בתי גידול רגישים בסמוך לאתר הכרייה, למצוא אתר חלופי או לשנע תסניני סדימנט לאזורים בעלי רגישות פחותה.

יש להתייחס להשפעה מצטברת של הפרעות העבר, ההווה והפיתוח המתוכנן בעתיד על בתי הגידול הימיים בתהליך התכנון של הכרייה הימית.

יש להגביל זמנית את הכרייה, לפי הצורך, על מנת להמנע בפגיעה בבית הגידול בעונות קריטיות להתפתחות מינים (לדוגמא, בעונת הרבייה, והתפתחות הצעירים). תזמון ההפסקות יקבע לפי צרכי המינים הספציפיים האזור ותנאי סביבתו. נהלי משאבי הטבע צריכים לקחת בחשבון זמן מספיק להתאוששות בית הגידול וחזרה לכמויות הנדרשות של המינים המנוהלים (כגון דגים, סרטנים) לפי הצורך הספציפי של המינים המנוהלים.

בנוסף, על מנת למנוע נזק לאתרי מורשת יש להשתמש בטכנולוגיות סריקה מקובלות על מנת לאתר ספינות טרופות. כאשר נמצאת אנומליה בשדה הסרוק מקובל ליצור אזור חוצץ שגודלו בין 60 מ' ל- 300 מ' (buffer) שנמנעים מלהכנס אליו עם המחפרונים הימיים על מנת להמנע מפגיעה באתרי מורשת תרבותית טבועה⁵⁰.

אפיון אתר הכרייה לפני תחילת העבודות

עבודות מחו"ל מצביעות על הרכיבים העיקריים שיש לאפיין באתר הכרייה:

- קביעת מימדים אופטימליים של הבור על מנת למזער את ההשפעה על משאבי הטבע, כלומר להחליט האם לכרות בורות עמוקים וקטנים או רדודים ורחבים.





- החלטה על מיקום מועדף מבחינת ההשפעה על משאבי הטבע.
- יש להעריך את קצבי מילוי הבורות, לאחר סיום הכרייה.
- יש להעריך את דפוסי נדידת החול וקצבם, שיפוע הבורות ואת יציבות סביבת החול הסמוכה לבורות לאחר סיום הכרייה.
- יש למדל ולתת הערכות של השפעת כרייה קצרת מועד, או ארוכת טווח על הסביבה מחוץ לאזור הכרייה, על הסעת החול ועל משאבי הטבע.
- יש למדל ולתת הערכות של השפעת אבדן החי והצומח על משאבי הטבע והסביבה מחוץ לאזור הכרייה.
- יש להעריך השפעת כרייה מאסיבית/ ארוכת טווח על המבנה האקולוגי של הקרקעית החולית.
- יש להעריך את הרכב החול המיועד לכרייה מבחינת הרכב חומרים רעילים ומתכות כבדות.

בטבלאות הבאות (מתוארים כל הקריטריונים שצריך לקחת בחשבון ולאמוד בתהליכי ניהול ובחינת השפעה על הסביבה של כריית סדימנטים^{92,93}.

⁹² [ICES] International Council for the Exploration of the Sea. (2003). Report of the ICES working group on the effects of extraction of marine sediments on fisheries. (No. WGEXT). Copenhagen (Denmark).

⁹³ O'Mahony, Sutton, McMahon, Cinneide & Nixon. (2008). Issues and recommendations for the development and regulation of marine aggregate extraction in the Irish Sea (No. 32). Marine Institute.





טבלה 3. קריטריונים לניהול פעילויות והערכת השפעה הקשורים לכריית אגרגטים ומימים⁹³.

Description of Physical Setting	Information Required for Physical Impact Assessment	Description of Biological Setting	Information Required for Biological Impact Assessment	Description of Proposed Aggregate Dredging Activity
<ul style="list-style-type: none"> Bathymetry and topography Distance from nearest coastline Geological history of deposit Source and type of material Sediment particle size distribution Extent and volume of the deposit Stability and/or natural mobility of the deposit Thickness of the deposit and evenness over the proposed extraction area Nature of underlying deposit and any overburden Local hydrography including tidal and residual water movements Wind and wave characteristics Average number of storm days per year Estimate of bed load sediment transport Existence of contaminated sediments and their chemical characteristics Natural background suspended sediment load under both tidal currents and wave action 	<ul style="list-style-type: none"> Implications of extraction for coastal and offshore processes, including possible effects on beach draw down, changes to sediment supply and transport pathways, changes to wave and tidal climate Changes to the seabed topography and sediment type Exposure of different substrates Changes to the behaviour of bedforms within the extraction and adjacent areas Potential risk of release of contaminants by aggregate dredging, and exposure of potentially toxic natural substances Transport and settlement of fine sediment disturbed by the aggregate dredging equipment on the seabed, and from hopper overflow or on-board processing and its impact on normal and maximum suspended load Effects on water quality mainly through increases in the amount of fine material in suspension Implications for local water circulation resulting from removal or creation of topographic features on the seabed Time scale for potential physical "recovery" of the seabed 	<ul style="list-style-type: none"> Flora and fauna within the area likely to be affected by aggregate dredging (e.g. pelagic and benthic community structure), taking into account temporal and spatial variability Information on the fishery and shellfishery resources including spawning areas, with particular regard to benthic spawning fish, nursery areas, over-wintering grounds for ovigerous crustaceans, and known routes of migration Trophic relationships (e.g. between the benthos and demersal fish populations by stomach content investigations) Presence of any areas of special scientific or biological interest in or adjacent to the proposed extraction area, such as sites designated under local, national or international regulations 	<ul style="list-style-type: none"> Changes to the benthic community structure, and to any ecologically sensitive species or habitats that may be particularly vulnerable to extraction operations Effects of aggregate dredging on pelagic biota Effects on the fishery and shellfishery resources including spawning areas, with particular regard to benthic spawning fish, nursery areas, over-wintering grounds for ovigerous crustaceans, and known routes of migration Effects on trophic relationships (e.g. between the benthos and demersal fish populations) Effects on sites designated under local, national or international regulations Predicted rate and mode of recolonisation, taking into account initial community structure, natural temporal changes, local hydrodynamics, and any predicted change of sediment type Effects on marine flora and fauna including seabirds and mammals 	<ul style="list-style-type: none"> Total volume to be extracted Proposed maximum annual extraction rates and dredging intensity Expected lifetime of the resource and proposed duration of aggregate dredging Aggregate dredging equipment to be used Spatial design and configuration of aggregate dredging (i.e. the maximum depth of deposit removal, the shape and area of resulting depression) Substrate composition on cessation of aggregate dredging Proposals to phase (zone) operations Whether on-board screening (i.e., rejection of fine or coarse fractions) will be carried out Number of dredgers operating at a time Routes to be taken by aggregate dredgers to and from the proposed extraction area Time required for aggregate dredgers to complete loading Number of days per year on which aggregate dredging will occur Whether aggregate dredging will be restricted to particular times of the year or parts of the tidal cycle Direction of aggregate dredging (e.g. with or across tide)

Assessment of Interaction with other Legitimate Uses of the Sea	Measures to Mitigate Effects of Marine Aggregate Extraction	Authorisation Conditions	MINIMUM Requirements for Monitoring Compliance with Authorisation	Scope of Monitoring Programme
<ul style="list-style-type: none"> • Commercial fisheries • Shipping and navigation lanes • Military exclusion zones • Offshore oil and gas activities • Engineering uses of the seabed (e.g. adjacent extraction activities, undersea cables and pipelines including associated safety and exclusion zones) • Areas designated for the disposal of dredged or other materials • Location in relation to existing or proposed aggregate extraction areas • Location of wrecks and war-graves in the area and general vicinity • Wind farms • Areas of heritage, nature conservation, archaeological and geological importance • Recreational uses • General planning policies for the area (international, national, and local) • Any other legitimate use of the sea 	<ul style="list-style-type: none"> • Selection of aggregate dredging equipment and timing of aggregate dredging operations to limit impact upon the biota (such as birds, benthic communities, any particularly sensitive species and habitats, and fish resources) • Modification of the depth and design of aggregate dredging operations to limit changes to hydrodynamics and sediment transport and to minimise the effects on fishing • Spatial and temporal zoning of the area to be authorised for extraction or scheduling extraction to protect sensitive fisheries or to respect access to traditional fisheries • Preventing on-board screening or minimising material passing through spillways when outside the dredging area to reduce the spread of the sediment plume • Agreeing exclusion areas to provide refuges for important habitats or species, or other sensitive areas 	<p>Authorisation (in the form of a permit, licence or other regulatory approval) is an important tool for managing marine aggregate extraction and will contain the terms and conditions under which aggregate extraction will take place, and will provide a framework for assessing and ensuring compliance.</p> <p>Authorisation conditions should be drafted in plain and unambiguous language and will be designed to ensure that:</p> <ul style="list-style-type: none"> • The material is only extracted from within the selected extraction site • Any mitigation requirements are complied with • Any monitoring requirements are fulfilled and the results reported to the regulatory authority. 	<ul style="list-style-type: none"> • An automatic record of the date, time and position of all aggregate dredging activity • Position to be recorded to within a minimum of 100 metres in latitude and longitude or other agreed coordinates using a satellite-based navigation system • There should be an appropriate level of security • Frequency of recording of position should be appropriate to the status of the vessel, i.e. less frequent records when the vessel is in harbour or in transit to the aggregate dredging area e.g. every 30 minutes, and more frequently when dredging, e.g. every 30 seconds 	<ul style="list-style-type: none"> • What are the environmental concerns that the monitoring programme seeks to address? • What measurements are necessary to identify the significance of a particular effect? • What are the most appropriate locations at which to take samples or observations for assessment? • How many measurements are required to produce a statistically sound programme? • What is the appropriate frequency and duration of monitoring?

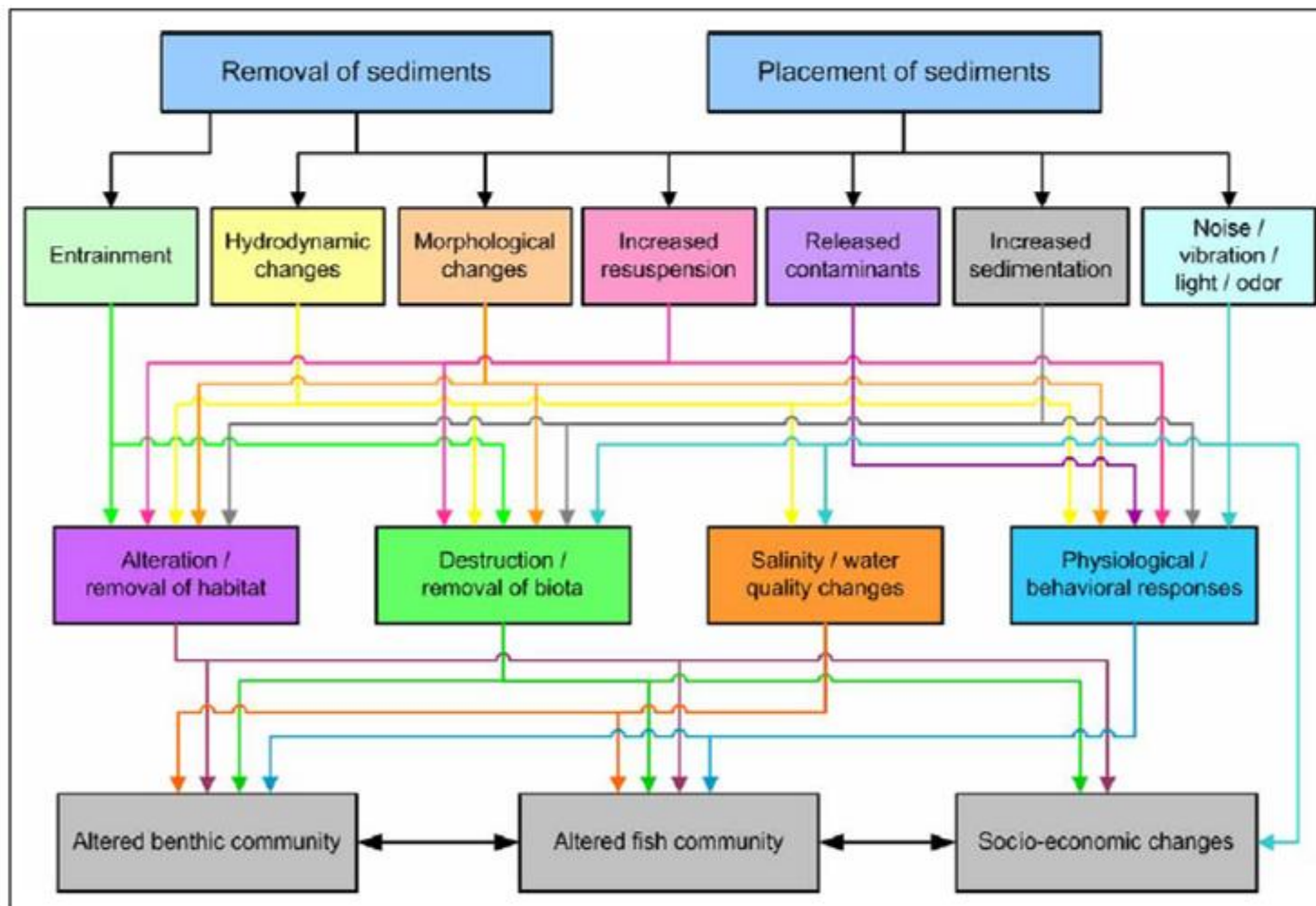


Figure 5-3: Conceptual Model of Physical Changes and Ecological Effects from Dredging-Related Activities

איור 34. מודל תפיסתי של שינויים פיזיים והשפעות אקולוגיות מפעילות כריית חול.⁸¹