

עולם חבוי בין גרגרי החול המצע הרך בים התיכון

מאי 2016

כתיבה ועריכה: **ד"ר אורית ברנע**
היגוי ועריכה: **ד"ר רותי יהל, רשות הטבע והגנים,**
אלון רוטשילד, החברה להגנת הטבע
עיצוב: **www.rotemdsgn.com**
צילום השער: **אילן שחם**

סדרת החוברות בנושא **מערכות אקולוגיות בסיכון** נועדה להעלות את מודעות הציבור וקובעי המדיניות בישראל לחשיבות שמירת המגוון הביולוגי, ולהקנות למנהלי שטח כלים לניהולו.

חוברות נוספות בסדרה: בריכות חורף, חולות מישור החוף, כורכר וחמרה, מעיינות, מלחות, בתה ושטחים עשבוניים, מישורי הלס בצפון הנגב, שוניות סלעיות בים תיכון.

החברה להגנת הטבע: ע"ר, הארגון הסביבתי הגדול והוותיק בישראל, עמית בישראל של הארגונים הבין-לאומיים IUCN ו-Birdlife International. החברה להגנת הטבע פועלת בכלים חינוכיים, תכנוניים, ציבוריים, מחקריים ומשפטיים לשמירה על המגוון הביולוגי של ישראל ועל נגישותו לציבור.

רשות הטבע והגנים (רט"ג): רשות ממשלתית הפועלת למימוש המטרות של החוקים שמכוננים אותה: חוק גנים לאומיים, שמורות טבע ואתרי הנצחה וחוק הגנת חיית הבר. מטרות הרשות מתחלקות למחויבויות לשמור על הטבע ועל אתרי המורשת, לטפח אותם לרווחת הציבור ולחנכו בהתאם למטרות אלה. כגוף ציבורי מחזיקה הרשות בנאמנות, בשם הציבור, חלק מנכסי הכלל: שמורות טבע וגנים לאומיים. נכסים אלו אינם שייכים רק לדור הנוכחי והרשות מחויבת אליהם כאל פיקדון עליו יש להגן לטווח הארוך, גם בעבור הדורות הבאים.

תודות: ברצוננו להודות לאנשים הבאים, שתרמו מהערותיהם המועילות על כתב היד. עם זאת, כל טעות, אם תמצא, היא על אחריות המחברים בלבד: ד"ר דני צ'רנוב, פרופ' אהוד שפניר, אוניברסיטת חיפה; ניר אנגרט, רשות הטבע והגנים; שרה אוהיון, עו"ד נועה יאיון, רותם בכור, החברה להגנת הטבע; ד"ר תמר פלדשטין, יעריית לויט ברמץ, לירון גורן, אוניברסיטת תל אביב; ד"ר ענת גפן גלזר; ד"ר אסף אריאל, אקוואשן; ד"ר בועז מייזל, אדם טבע ודין; רות פולוילר. ד"ר אורית חיימס-קפצן, המכון הגיאולוגי לישראל; מעיין חיים, המשרד להגנת הסביבה

כל הזכויות שמורות לחברה להגנת הטבע (ע"ר) ולרשות הטבע והגנים, 2016
www.teva.org.il/migvan

עולם חבוי בין גרגרי החול המצע הרך בים התיכון

מאי 2016

חוברת מידע והמלצות לקובעי מדיניות, מתכננים,
מנהלי שטח ואנשי חינוך

תקציר מנהלים

רובנו מכירים את סביבת הקרקעית הימית הרכה דרך ביקורים בחוף הים ושוטטות על חופים חוליים זהובים, איסוף צדפים וטבילה במים הרדודים, אשר לא נראים במבט ראשון כסביבה עשירה בחיים. אולם, לא רבים יודעים כי שטחי הקרקעית הרכה מהווים את המערכת האקולוגית השניה בגודלה על פני כדור הארץ, והיא המערכת האקולוגית השליטה במרבית השטח הימי של מדינת ישראל – אזור עשיר בחיים ייחודיים ומרתקים שחשוב מאוד להכירם ולשמור עליהם.

אזור החוף המוכר לנו חשוף מאוד לשינויים בתנאים הסביבתיים ולכן מהווה בית גידול מאתגר מאוד לקיום בעלי חיים. לא רבים הם המינים המסוגלים לקבוע שם את ביתם. למרות זאת, כשמעמיקים לתוך הים והתנאים מתייצבים, יותר ויותר בעלי חיים מתגלים באזור הקרקעית ובמים שמעליה.

שטחי הקרקעית הרכה הם שם כללי למצע המורכב מחומרים שונים: חול, טין, חרסית, חצץ ושלדי בעלי חיים.

מקורה של הקרקעית הרכה בחופי הים התיכון של ישראל משני מקורות עיקריים ושונים:

הראשון הוא תוצרי בלייה של הרי אתיופיה ורמות החול של סודן – חול קוורץ, טין וחרסית, אשר הוסעו על ידי נהר הנילוס אל הים התיכון, ומשם על ידי זרמי הים לאורך מדף היבשת. המקור השני מורכב מגרגרים קרבונטים (*bioclast*) שמוצאם משלדי אצות ושלדי בעלי חיים ימיים שהתפוררו/נשברו או שנמצאים בשלמותם. רבים הם הגורמים המשפיעים על הרכב חברת החי בקרקעית הרכה, אך המרכזיים שבהם הם: (1) גודל הגרגר, שבאופן כללי הולך וקטן עם העלייה בעומק. (2) מידת החשיפה לזרמים ואנרגיית גלים (3) נוכחות מינים פולשים.

בעלי החיים עצמם יכולים להשפיע על המצע בבית גידולם ולשנות אותו, באמצעות פעולות שהם מבצעים, למשל חפירה בתוך המצע ושחרור הפרשות. פעולות כאלה משנות את התנאים הפיזיים בבית הגידול ובכך משפיעות בתורן על הרכב חברת החי.

בתי הגידול של המצע הרך פרושים מקו החוף ועד קרקעית הים העמוק (בעומק של מעל 1000 מ'). באזור מדף היבשת (האזור שבו נתמקד בחוברת זו) מתקיימים בתי גידול שונים, הפרושים בחגורות מקבילות לקו החוף, ונבדלים בתנאים הסביבתיים שלהם (אנרגיית גלים, זרמים, גודל גרגר, עומק, תאורה וכד'). מכיוון שתנאי הסביבה משתנים בהדרגה ככל שמעמיקים, הגבולות בין בתי הגידול אינם ברורים, ועל כן בעלי חיים שונים יכולים להתקיים במספר בתי גידול. בכל בית גידול של המצע הרך מתקיימות אוכלוסיות ב"שכונות עליות" (*Epifauna*) = על פני המצע, וב"שכונות תחתיות" (*Infauna*) = בתוך המצע. בנוסף מתקיימים גם קשרים בין בעלי החיים המאכלסות את הקרקעית ובין החי המאכלס את עמודת המים שמעליה.

תנאי הקיום במצע הרך אינם תמיד נוחים, ולעיתים נאלצים בעלי החיים להתמודד עם אתגרי קיום מורכבים (מצע לא יציב, סכנת טריפה, מציאת מזון, צורך במחסה). ולכן, את העולם המופלא של המצע הרך, מאכלסים בעלי חיים בהם התפתחו במהלך האבולוציה "המצאות" (התאמות – אדפטציות) שונות ומשונות המסייעות להם לשרוד בסביבה מורכבת זו, כמו נרתיקים עשויים גרגרי קוורץ קשים, עין שנוודת מצד אחד של הגוף אל הצד השני, החלפת דירה (קונוכיה) כל כמה חודשים, ועוד.

המצע הרך, המורכב מגרגרים/חלקיקים בודדים הנעים ממקום למקום, כמעט ואינו תומך בהתבססות של בעלי חיים ישיבים (צמודי מצע), שמאפיינים מצע סלעי ולכן מרבית בעלי החיים שמצויים בתוכו ועליו הם בעלי חיים עם יכולת ניידות כלשהי. סרטנים ארוכי בטן (למשל שרימפ), דגי גרם וגם בטאים כדוגמת הגיטרן הם דוגמאות לבעלי חיים ניידים ביותר, ואילו נוצות ים, תולעים רב זיפיות למיניהן וצדפות מסוימות בדרך כלל מוגבלות ביכולת התנועה שלהן.

פעילות האדם מאיימת לפעמים על תפקודה של המערכת האקולוגית במצע הרך, ופוגעת באיזון העדין המתקיים בה. בין פעולות אלה ניתן למנות הרס בית הגידול הנגרם מ"חריש" חוזר ונשנה של הקרקעית במהלך דיג מכמורת (העוסק

בדיג של דגה מסחרית המצויה במצע החולי, כמו סרטני שרימפ, דגי מולית ועוד), שינוי בתנאים הסביבתיים כתוצאה מהזרמות שונות אל הים (ביוב, שפכי מפעלים, מים חמים מתחנות כוח ותמלחת התפלה), הפרעות פיזיות למצע כדוגמת תוספת מבנים קשיחים, חפירות למיניהן, כריית חול והזנת חול וגם תופעת שינויי האקלים. הפרעות כגון אלה גם מגבירות את יכולת התבססותם של מינים פולשים, המשפיעים על הרכב חברות החי ומארג החיים במזרח הים התיכון.

כל אלה מהווים איום על בתי הגידול של הקרקעית הרכה ועל בעלי החיים השוכנים בהם. ההשפעות השליליות של פעילויות כאלה יכולות לכלול שינויים במבנה חברת החי, העלמות מינים מקומיים, צמצום שטחי בתי גידול, פגיעה ברבייה של צבי ים ועוד.

בתי הגידול של המצע הרך ראויים להגנה ולשימור ולכן יש להכליל שטחים מייצגים מתוכם בשמורות טבע ימיות ולהגביר את המודעות לחשיבותם ולמגוון הביולוגי המתקיים בהם.

באשר לתכניות שונות שמטרתן בניית תשתיות בסביבת המצע הרך במרחב הימי של ישראל, יש להמשיך בנוהל הקיים של ביצוע תסקיר השפעה על הסביבה/ מסמך סביבתי (טרם אישור התכנית) על מנת להעריך את ההשפעות הסביבתיות ולהציע אמצעים למזעור פגיעתן השלילית. יש להחיל את הסטנדרטים הסביבתיים המחמירים גם על תחום המים הכלכליים, בעיקר בתחום קידוחי האנרגיה, ולהטמיע סטנדרטים אלה במסגרת "חוק האזורים הימיים" ובמסגרת תכנית "המרחב הימי".

על מנת להפסיק את הנזק הכרוני רב-השנים שנובע מפעילות ספינות דיג המכמורת, יש לפעול באופן מיידי להפסקתה של שיטת דיג זו.

במטרה להגן על הדור הבא של צבי הים המתרבים בתחומי המרחב הימי של ישראל יש להגביל בזמן כל פעילות פיזית הכרוכה בהנחת/הקמת תשתיות באזור החופים החוליים ולאסור על פעילות כזו בחודשים בהם עולות נקבות צבי הים להטיל את ביציהן •

הקדמה

סביבת החיים של המצע הרך מהווה את רוב השטח הימי של מדינת ישראל והיא משתרעת על פני אלפי קמ"ר, ולמרות זאת היא סביבה ביולוגית לא מוכרת לציבור הישראלי. כל מי שהילך על החופים החוליים הזהובים מדרום הארץ ועד צפונה לבטח התרשם מערימות הצדפים והקונכיות שנערמים מפעם לפעם (בעיקר אחרי סערות) בחופים מסוימים. ערימות אלה מהוות עדות דוממת למגוון הביולוגי שקיים בקרקעית הרכה. עולם חי זה הוא לעיתים חבוי או שאינו נגיש למי שאינו צולל או דוגם את הקרקעית.

שטחי הקרקעית הרכה הם שם כללי למצע המורכב מחומרים שונים: חול/טין/חרסית/חצץ/שלדי בעלי חיים. שטחים אלה מהווים את המערכת האקולוגית השנייה בגודלה על פני כדור הארץ: האוקיינוסים מכסים יותר מ-70% משטח כדור הארץ ולכן עמודת המים (כל המים שנמצאים מהקרקעית ועד פני הים) מהווה את המערכת הנרחבת ביותר הקיימת עליו, אך קרקעית האוקיינוסים, שמרבית שטחה מורכב ממצע רך, היא המערכת השנייה בגודלה^[1].

קרקעית הים ועמודת המים מעליה אומנם שונות מאוד באופיין, אך הן מקיימות ביניהן קשרים רבים ולא ניתן לנתקן זו מזו (למשל: תהליכי רבייה של בעלי חיים בקרקעית שבמהלכם נוצרת פגית שמשוחררת אל גוף המים ונסחפת בהם).

הקרקעית הרכה, שלעיתים נראית "משעממת", אינה אחידה כפי שניתן לחשוב והיא מאפשרת קיום של בעלי חיים בנישות חיים מגוונות למשל: 1. בתוך הסדימנט, בו מתקיימים בעלי חיים שונים בטווח עומקים משתנה, עד עשרות סנטימטרים מתחת לפני השטח 2. על גבי הסדימנט 3. בקשר (אסוציאציה) עם בעלי חיים אחרים.

מימד נוסף שמשפיע על אוכלוסיית בעלי החיים במצע הרך הוא טווח עומקי המים: החל מאזור החוף, החשוף לפעילות הגאות והשפל, ועד למים בעומקים של אלפי מטרים מתחת לפני הים. החיים בכל אחד מהאזורים השונים מציב עבור הדיירים סט תנאים שונים למחייתם ואתגרים מגוונים להתמודד איתם.

למרות היותם נפוצים מאוד, שטחי הקרקעית הרכה אינם זוכים לתשומת הלב הציבורית והמדעית שבהם זוכים שטחים של מצע קשה כגון שוניות אלמוגים ושוניות סלעיות, ולכן גם מאוימים מאוד מפעולות פיתוח, זיהום, דיג ושאר פעילויות אדם שאינן מכירות בערכה הציבורי הביולוגי של מערכת אקולוגית זו.



מטרת מסמך זה לחשוף את העולם העשיר, שלרוב נסתר מן העין, המתקיים במרחבי הקרקעית הרכה של הים התיכון בישראל, ולהציע המלצות לשימור וניהול מושכל של מערכות אקולוגיות אלה ●

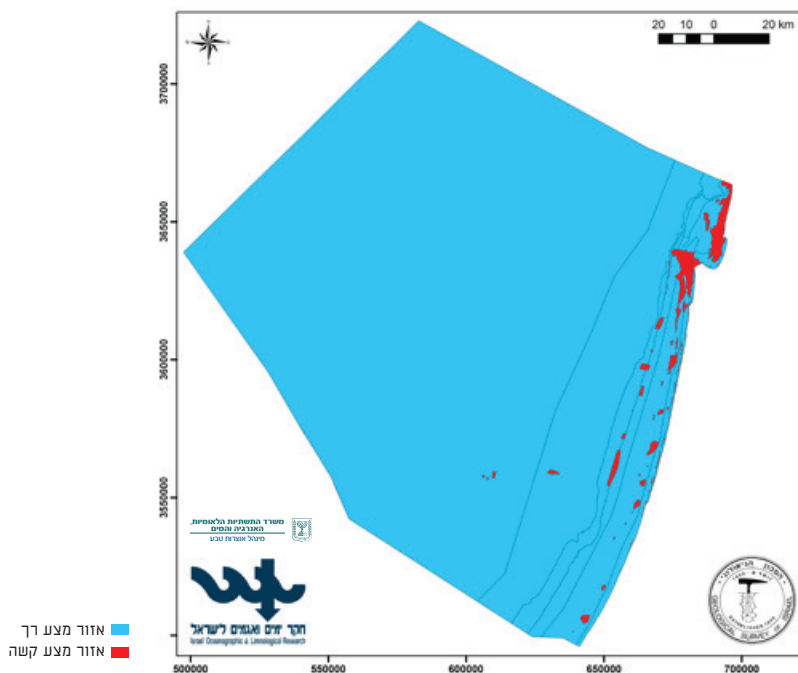
מחזור רבייה של צדפה: דוגמה לקשר בין המצע הרך לבין גוף המים

צדפות בוגרות שחיות בקרקעית הרכה משחררות לגוף המים תאי מין (תאי ביצית ותאי זרע). רוב הצדפות הן הרמפרודיטיות (מכילות בו זמנית אברי רבייה זכריים ונקביים) ולכן הן בעלות יכולת לשחרר תאי זרע ותאי ביצית גם יחד. השחרור מתוזמן בד"כ על ידי עונתיות או בעזרת המחזור הירחי כדי שאירוע ההפריה יתאפשר. תאי הזרע ותאי הביצית נפגשים בגוף המים, מתרחשת הפריה ובעקבותיה נוצרת לרווה/פגית שחיינית. הלרווה נמצאת בגוף המים תקופה מוגבלת של זמן (ללרוות של צדפות שונות יש זמני שהות שונים בגוף המים). בתום התקופה, מחפשת הלרווה מקום מתאים להתיישבות. מקום זה נקבע על סמך סמנים כימיים "שמאותתים" ללרווה כי זהו אתר מתאים. לרווה שמצאה מקום מתאים משנה את צורתה (עוברת מטמורפוזת) ומקבלת צורה דומה לפרט הבוגר של הצדפה, המוכר לנו^[2] ●

→ צדפה מהסוג Donax מתחפרת במצע הרך / צילום: לירון גורן

1. מצע רך ומצע קשה במרחב הימי של הים התיכון בישראל

מדף היבשת הישראלי ושולי היבשת מחולקים לשני מחוזות עיקריים, הצפוני והדרומי. הגבול ביניהם הוא הכרמל והמשכו בים – ראש הכרמל. שני המחוזות נחלקים בחלוקה גסה לבתי גידול סלעיים (עליהם ניתן לקרוא בחוברת "שוניות סלעיות בים תיכון") ולבתי גידול של קרקעית רכה. באיור מס' 1 ניתן לראות כי רוב שטח קרקעית הים בתחום הריבונות הישראלית משתייך לבתי הגידול של הקרקעית הרכה^[3].



↑ איור 1: מפת החלוקה לבתי גידול של מצע רך ומצע קשה במרחב הימי של ישראל בים התיכון. מעבוד מתוך חלק ג' של סקר אסטרטגי סביבתי לחיפוש ולהפקה של נפט וגז טבעי בים עבור משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים^[3] ודו"ח חי"א"ל H20/2015 ודוח מכון גיאולוגי IGSI/11/2015. הוכן על ידי מור כנרי ומשה תום, חי"א"ל

2. מקור המצע הרך במדף היבשת לחופי ישראל

מוצאו של החומר המרכיב את הקרקעית הרכה בחופי הים התיכון של ישראל בשני מקורות עיקריים:

הראשון הוא תוצרי בלייה של הרי אתיופיה ורמות סודן – חול קוורץ, טין וחרסית, אשר הוסעו על ידי נהר הנילוס אל הים התיכון ועל ידי זרמי הים לאורך מפתן היבשת^[4]. רובם המכריע של הסדימנטים הבלתי מלוכדים בחופי ישראל ובמדף היבשת הם ממקור זה.

מקור שני מורכב מגרגרים קרבונטים (*bioclasts*) שמוצאם משלדי אצות ושלדי בעלי חיים ימיים שהתפוררו/נשברו או שנמצאים בשלמותם (למשל שלדים מיקרוסקופיים שלמים של יצורים חד תאיים מתת-מערכת הפורמניפרה, מהווים מרכיב חשוב בקרקעית הרכה בכל העומקים). סדימנט זה מכונה "חול ביוגני", מכיוון שמקורו בשלדי יצורים חיים^[4].

החלוקה של המצע הרך לפי מקורו מקבלת גם ביטוי גיאוגרפי: באזור הדרומי של ישראל עד מפרץ חיפה ("התא הנילוטי") – מקורו של החול הימי הוא מהנילוס, ובאזור חוף הגליל (צפונית לעכו ועד לראש הנקרה) כ-80–90% מהחול הינו "חול ביוגני" ●

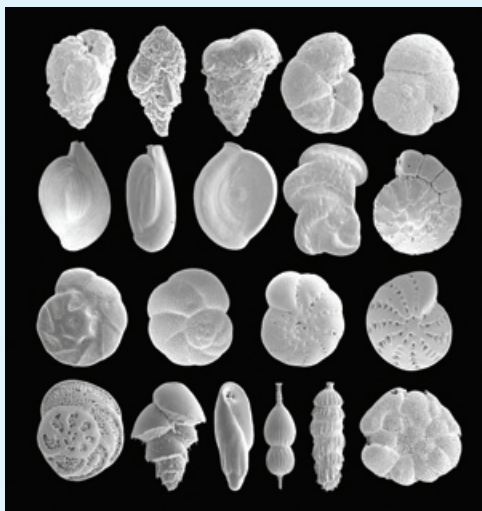
חורירות - מרכיב חשוב בבניית התשתית של המצע הרך

כשמביטים בחול ים מבעד למיקרוסקופ מגלים עולם שלם של צורות גיאומטריות יפהפיות שרובן שייכות לחברי קבוצת החורירות (פורמניפרה). זוהי קבוצת יצורים חד תאיים, שרוב מיניה הימיים הינם שוכני קרקעית וניזונים על ידי לכידת אצות חד תאיות וחיידקים. שלדיהם מהווים מרכיב חשוב של המצע הרך.



➤ משמעות שמם הלועזי היא "נושאי החורים" וזאת מכיוון שמבנה השלד מכיל חורים קטנטנים. החורירות הן אוניברסאליות, ומצויות בכל הימים ובכל העומקים.

החורירית מורכבת מתא יחיד שמבצע את כל פעולות החיים כולל הפרשת מבנה קשיח (מעין שלד). השלד עשוי לרוב מסידן (קלציום קרבונט), לעיתים מורכב מכמה חדרים, שיחדיו יוצרים מבנים מורכבים ויפים. מרבית החורירות חיות על הקרקעית או בתוכה (יצורים בנתוניים). יצורים אלה רגישים מאוד לשינויים בריכוז החמצן ולתכולת החומר האורגני הזמין בקרקעית הים ולפיכך הם משמשים כסמנים (ביו-אינדיקטורים) מהימנים גם לאחר מות היצור עצמו, מאחר שהם משאירים שלדים קשים המצטברים על קרקעית הים ומשתמרים בתיעוד השכבות (רקורד סדימנטרי)^[5,6].



↑ מגוון שלדי פורמינפירה מאזורי מצע רך / [מיון, הגדרה וצילום ד"ר אורית חיימס-קפצן, המכון הניאולוגי, ירושלים]

3. המצע הרך: עולם מופלא הנחבא מן העין

קרקעית המצע הרך עשויה להיראות נטולת חיים, עד שנשפוך אותה אל נפת סינון. ככל שהחול הולך ונעלם דרך הרשת נחשף לעינינו עולם חי שלם, עשיר ביצורים לא מוכרים ומפתיעים בצורתם, באורחות חייהם ובקשרים המתקיימים ביניהם.

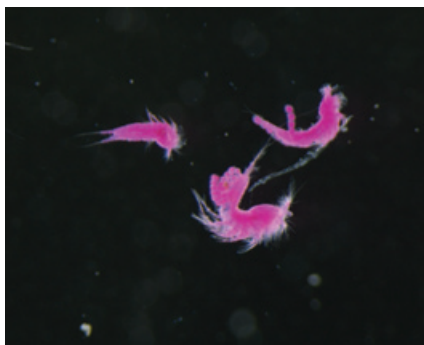
בעלי חיים נפוצים בדגימות "החי בתוך המצע" בעומקים 30-3 מ'



↑ סרטן מסדרת השטצדיים - *Amphipoda*



↑ סרטן נייר השייך לתת-סדרת שוני הבטן - *Anomura*



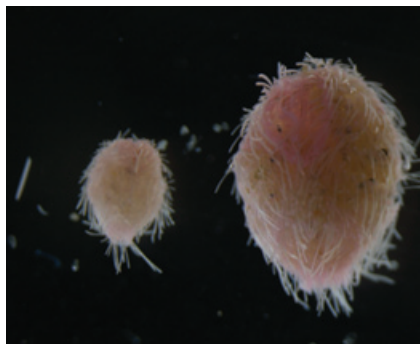
↑ סרטן מתת - מחלקת השטרנליים ומסדרת ה-*Harpacticoida*



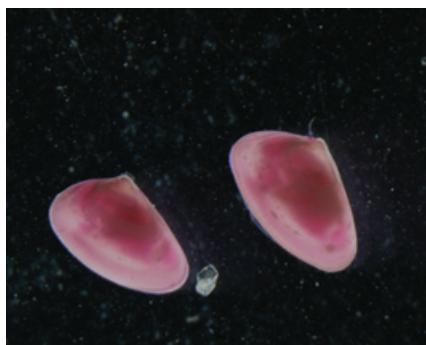
↑ סרטן מתת - מחלקת השטרנליים ומסדרת ה-*Calanoida*



↑ סרטן מסדרת הגליים - *Cumacea*



↑ קיפוד ים מהסוג לבב *Echinocardium*



↑ צדפות מהמין סירת משה *Donax trunculus*



↑ תולעת רב זיפית ממשפחת ה- *Nephtyidae*

הגוון הוורוד של כל בעלי החיים המופיעים בתמונות נובע משימוש בצבע מיוחד שמוסף לדגימות החול ונקשר אך ורק למרכיבים חיים בדגימה ולא לגרגרי החול. / כל התמונות באדיבות חברת החשמל, מתוך "מגיד ויזואלי לחסרי חוליות"^[8].

בעלי החיים המותאמים לחיים בסביבה שבין גרגרי החול שייכים לקבוצה הנקראת "חי תוך – המצע" ("אינפאונה", *Infauna*), המכילה נציגים כמעט מכל מערכה ידועה של בעלי חיים ובעיקר תולעים, סרטנים ורכיכות^[2].

הרכב האוכלוסייה של הקרקעית נקבע על סמך מכלול של גורמים כדוגמת: עונת השנה, הרכב כימי של המים, זרמים, הרכב סדימנט, גודל גרגר, עומק, תכולת חומר אורגני, אינטראקציות ביולוגיות (תחרות בין בעלי חיים, טריפה וכד') שמעצבות את החברה ופעילות ביולוגית שמשפיעה על המצע (למשל חפירת מחילות, הפיכת החול, הפרשת חומר אורגני)^[7].

פעילויות אנושיות שונות כגון הזרמת שפכים, הזרמת מים חמים מתחנות כוח בשילוב עם רכז התפלה, הנחת צנרת, דיג וחקלאות ימית עלולות לגרום לשינויים מקומיים בתנאי הסביבה של הקרקעית הרכה ובכך להשפיע על הרכב חברת בעלי החיים באתר מסוים (הרחבה על כך בפרק (7) האיומים על המצע הרך) •



† תמונת מתחפר בחול / צילום: גל אייל

4. הגורמים המרכזיים המעצבים את בתי הגידול של המצע הרך

התנאים הפיזיים

גודל גרגר ^[N], עומק וזרמים – באזורים חופיים משתנה גודל גרגר כתלות בגיאומורפולוגיה של החוף וכפועל יוצא מכך גם מאנרגיית הגלים ומשטר הזרמים. באזורים מוגנים באופן יחסי (מפרצים למשל) יכול להצטבר ולשקוע סדימנט בעל גודל גרגר קטן. לעומת זאת, באזורים שטוחים (ללא הגנת סלעים) החשופים לפעילות גלים וזרמים, ייסחפו גרגרים בעלי גודל גרגר קטן מאוד ויישאר סדימנט עם גודל גרגר גס.

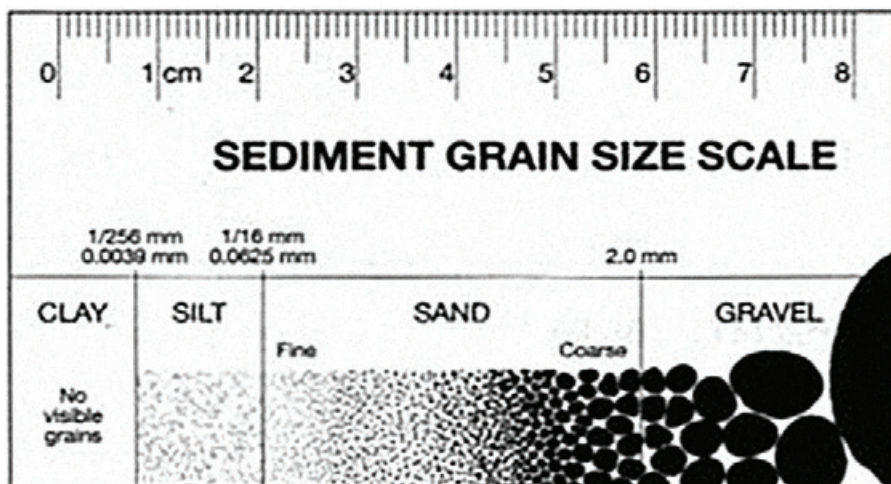
באופן כללי, גודל הגרגר הולך וקטן ככל שמעמיקים ומתרחקים מקו החוף. במים עמוקים יותר עולה החלק היחסי של טין וחרסית שגודל הגרגר שלהם קטן. גודל הגרגר משפיע על הרווחים הבין גרגריים ועל "אוורור" הסדימנט, כלומר משפיע על חדירת מים וחמצן שפוחתת ככל שגודל הגרגר קטן (מחול לטין). בחופים הנמצאים בסמוך לאזורים סלעיים/מצוקים או שפכי נחלים יכולות להיות בקו החוף ובמים הרדודים גם אבנים בגדלים שונים, שמקורן בהסעה מערוצי נחלים או מבלייה של מצוקים חופיים. נוכחותן של אבנים בגדלים שונים או שברי צדפים באזור מצע רך מאפשרת היאחזות של מגוון בעלי חיים ישיבים ומהווה מעין "אי של יציבות" במרחב הדינמי של המצע הרך.

כיצד יכול להשפיע גודל הגרגר על הרכב אוכלוסיית בעלי החיים במצע הרך?
השפעה של גודל הגרגר על הרכב אוכלוסיית בעלי החיים החיים במצע הרך ניכרת ביותר באזורים שיש בהם נוכחות של שברי צדפים ושלדים גירניים (למשל של

[N] גודל הגרגר מתייחס לכל מרכיבי המצע הרך: חול, שברי צדפים, שלדי בעלי חיים, אבנים

קיפודי ים) בסדימנט (בד"כ באזורים שקרובים למצע סלעי). נוכחותם של שברי צדפים ושלדים גירניים היא משמעותית מכיוון שבניגוד לקרקעית הטינית הרכה מהווים הנ"ל אלמנטים קשיחים שמאפשרים היצמדות והתיישבות של הפרטים הצעירים (דרגות לרווליות) של בעלי חיים ישיבים (צמודי מצע) שונים כדוגמת צורבים, חי-טחביים ואצטלנים.

הנוכחות של צורבים מושבתיים כדוגמת הידרתיים (*Hydrozoa*) ו/או חי-טחביים (*Bryozoa*) מגדילה עוד יותר את המורכבות המבנית של בית הגידול, ולכן מגדילה את המגוון הביולוגי מכיוון שבעלי חיים אלה יוצרים נישה נוספת בתוך בית הגידול של הקרקעית הרכה. לדוגמה, במקרה של נוכחות הידרתיים מושבתיים ניתן לראות כי קיימת נוכחות נלווית של סרטנים קפזרגליים ממשפחת ה-*Caprellidae*,



↑ איור 2: סולם גדלים של סדימנט: בצד שמאל של הסולם מצויים הטין והחרסית שהם בעלי גודל גרגר קטן מאוד (הרבה פחות מ-1 מ"מ), באמצע נמצא את גרגרי החול המוכרים לנו מחופי הים (בסביבות 1-2 מ"מ) ובצד ימין של הסולם מצויים סוגים שונים של חצץ (אבנים קטנות שנודלן גודל מ-2 מ"מ ויכול להגיע גם למס' סנטימטרים).

הידועים כמאכלסים של מבנים מעונפים^[9] ובד"כ אינם מתועדים בדגימות אחרות שאינן מכילות הידרתיים.

כיצד בעלי החיים משפיעים על תכונות הקרקעית ומעצבים אותה?

גם בעלי החיים עצמם משפיעים על תכונות הקרקעית. בעלי חיים שונים תורמים ל"עיצוב הפנים" של המצע הרך ולמאפיינים ה"קולינריים" שלו באמצעות פעולות שונות כמו תנועה ותזונה:

תנועה

בעלי חיים כמו קיפודי ים וחלזונות (כמו סטרומבוס מקושט), שנעים בחלק העליון של המצע הרך, מזיזים את גרגרי הסדימנט ויוצרים בו מעין תלם. בעלי חיים אחרים כדוגמת כוכבי ים וחתולי ים יוצרים במצע הרך מעין גומת תזונה שבה הם מתחפרים חלקית ושם מעכלים את מזונם. מינים שונים של סרטנים ארוכי בטן יוצרים רשתות של מחילות בתת הקרקע וגם תולעים מסוגים שונים מתחפרות במצע ובונות נרתיקים העשויים ריר וגרגרי חול/שברי צדפים ומרחיפות גרגרי סדימנט מהקרקעית למים.

פעילויות אלה ידועות בשם הכולל *Bioturbation* וידועה חשיבותן בהעברת מים מחומצנים וחומרי הזנה (נוטריינטים) לרבדים עמוקים יותר בתוך הקרקעית, וכן בהחזרתם של חומרי הזנה ששקעו לקרקעית הים חזרה לעמודת המים, שם הם יכולים להיצרך על ידי אורגניזמים נוספים.

תזונה

בעלי חיים המסננים את מזונם מן המים, כדוגמת צדפות, צורכים מעמודת המים, פיטופלנקטון וחלקיקים נוספים מגוף המים ומפרישים בתורם חנקן חזרה למים,

לפיכך יש להם תפקיד חשוב כחוליה מקשרת בין הקרקעית והמים שמעליה. במהלך תזונתם בעלי חיים שונים מעכלים חומר צמחי ואורגני ומפרישים צרכים אל הקרקעית, ובכך מעשירים את הסדימנט בחומר אורגני הנצרך על ידי אוכלוסיות חיידקים ועל ידי בעלי חיים שניזונים מליקוט חומר אורגני מהסדימנט או מעיכול סדימנט (כמו מלפפוני ים)^[10] ●



→ "שביל" שנוצר מתנועתו של חילוון במצע החולי / צילום: גל אייל

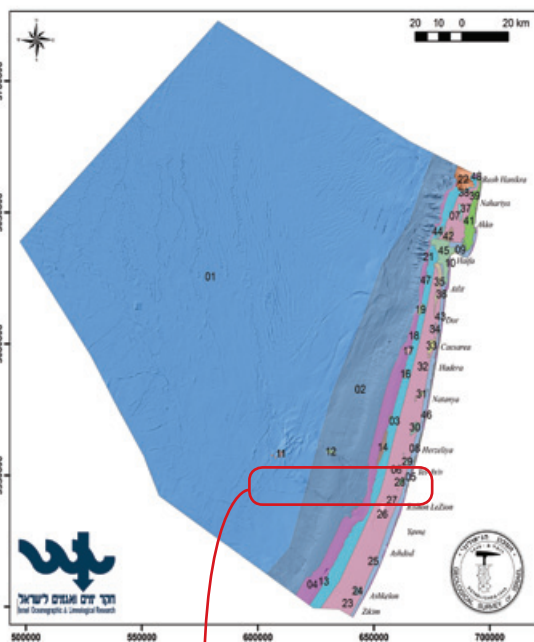
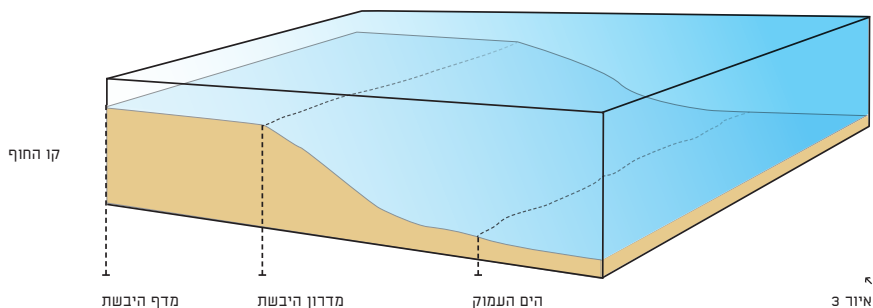
5. מגוון בתי הגידול של המצע הרך

בכדי ללמוד על בתי הגידול השונים של המצע הרך, נצא לסיור שמתחיל ביבשה – על קו החוף. תוך צעדים ספורים נלבש חליפת צלילה, ונמשיך מערבה עד לקצה מדף היבשת (עומק של 200 מ'), נגלוש במדרון היבשת וננחת באזור הים העמוק (עומקי מים של 500 מ' ועד מעל 1000 מ').

בחתך עומקים זה מתקיימים בתי גידול שונים, הפרושים בחגורות מקבילות לקו החוף, ונבדלים בתנאים הסביבתיים שלהם (אנרגיית גלים, זרמים, גודל גרגר, עומק, תאורה וכד'). הגבולות בין בתי הגידול אינם ברורים מכיוון שגם תנאי הסביבה משתנים בהדרגה, ועל כן בעלי חיים שונים יכולים להתקיים במספר בתי גידול. בכל בית גידול של המצע הרך מתקיימות אוכלוסיות ב"שכונות עיליות" (*Epifauna*) – על פני המצע, וב"שכונות תחתיות" (*Infauna*), בתוך המצע. בנוסף מתקיימים גם קשרים בין החיות המאכלסות את הקרקעית ובין החי המאכלס את עמודת המים שמעליה (דגים מעמודת המים הניזונים מבעלי חיים מהקרקעית, חיות מהקרקעית המשחררות תוצרי רבייה לעמודת המים, שקיעת חומרי הפרשה מעמודת המים לקרקעית ועוד).

אזור החוף

אזור החוף, בו נפגש גוף המים עם היבשה הינו האזור המוכר והנגיש ביותר לבני האדם. אזורים חופיים החשופים לפעילות גאות ושפל (אזור הכרית) מאופיינים בהשתנות של התנאים הסביבתיים באופן הדרגתי לאורך קו מסוים, למשל: רטיבות-יובש, חשיפה לפעילות גלים, מליחות וגודל גרגר. באזורים סלעיים קל יותר לראות ולהבין את התופעה שנקראת "חיגור" (מלשון "חגורה") שמשמעותה סידור מרחבי של בעלי חיים באזורים שבהם קיימים תנאים מסויימים. הימצאותו של מין מסוים במיקום מסוים תלויה באופן ישיר ביכולתו הפיזיולוגית להתמודד עם תנאי סביבה מסויימים, וביכולת התחרות שלו מול מינים אחרים. תופעת החיגור קיימת גם במצע



איור 4: מפת בתי הגידול הכללית של המרחב הימי של ישראל. מתוך חלק ג' של סקר אסטרטגי סביבתי לחיפוש ולהפקה של נפט וגז טבעי בים עבר משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים^[2] (דו"ח חי"יל H20/2015 ודוח מכון גיאולוגי 2015/11/01). במסגרת אדומה נראה חתך סכמטי באזור הדרומי של ישראל שמייצג את מגוון בתי הגידול של מצע רך מקו החוף ועד הים העמוק

מקרא:

- 01 הים העמוק
- 02 מדרון היבשת
- 04 מדף היבשת 200-100 מ'
- 03 מדף היבשת 100-30 מ'
- 06 מדף היבשת 60-30 מ' דרום
- 08 מדף היבשת 30-1 מ' דרום
- 05 חוף חולי

הרך, אך גבולות החגורות השונות אינן כה מובהקים כמו בשוניות סלעיות.

אזור העל-כרית

אזור זה מתאפיין במשטחי חול שנשטפים מדי פעם על ידי הגלים ומחשיפה לרסס הגלים. בבית גידול זה תנאי מחייה קשים (בקיצ': טמפרטורות גבוהות, מליחות ויובש. בחורף: חשיפה למי גשמים).

דיירים: המאכלס הקבוע והמוצלח של אזור זה הוא הסרטן חולון החוף (*Ocypode cursor*) שבשעות הבוקר המוקדמות ולפנות ערב ניתן לראותו מתרוצץ על פני החול ובשעות החמות מסתתר במחילות. סרטן זה ניזון מאצות שנשחפו לחוף, מחומר אורגני ומשאריות מזון שנותרו על החוף^[11].

גם נקבות צבי הים מגיעות לאזור זה בעונת הרבייה שלהן על מנת להטיל את ביציהן. למרות שצבי הים אינם דיירי קבע של החוף החולי, הם משתמשים באזור זה לשלב מאוד חשוב במחזור חייהם, שלב הטלת הביצים. בתחומי המרחב הימי של ישראל פעילים שלושה מינים של צבי ים: צבי הים החום (*Caretta caretta*), צב הים הירוק (*Chelonia mydas*) וצב הים הגלדי (*Dermochelys coriacea*)^[12]. מבין



↑ הסרטן חולון החוף / צלם: אמיר גור



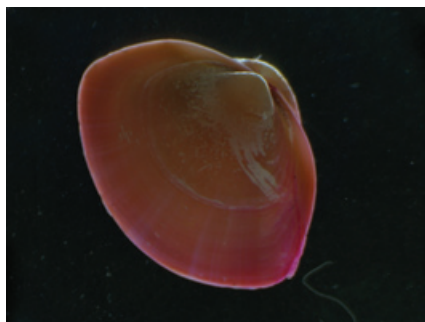
↑ צב-ים לאחר הבקיעה / צלם: יניב לוי

שלושת המינים הנ"ל, הנקבות של שני הראשונים מטילות ביצים בחופים חוליים לאורך קו החוף הים תיכוני של ישראל. ידוע כי נקבות צבי הים נותרות נאמנות לחוף בו בקעו וחוזרות להטיל שם את ביציהן (תופעה המוכרת בשם פילופטריה). כל שמונת מיני צבי הים בעולם והנ"ל בתוכם, הוכרזו על ידי ה *IUCN* כמינים בסכנת הכחדה. בים התיכון, הוכרזו צבי הים הגלדי וצב הים הירוק כמינים בסכנת הכחדה קריטית.

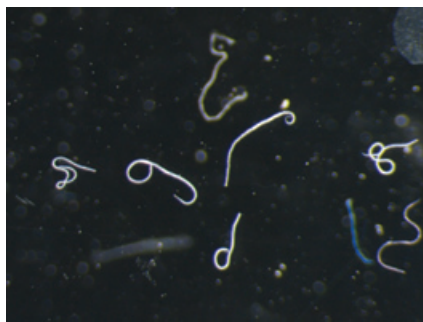
אזור הכרית

באזור הכרית, אזור הנשטף תדיר על ידי הגלים, ומאופיין כאזור דינאמי מאוד, שוררים תנאים קשים מאוד למחייה. תשתית החול מתערבלת ללא הרף וגרגרי החול יוצרים אפקט שחיקה. מכיוון שגרגרי החול הם למעשה גרגרים של המינרל הקשה קוורץ, ניתן לדמות את האתגר כ"שיוף" הנגרם על ידי שטף של חתיכות זכוכית קשות המוטחת על פני גופם של בעלי החיים. באזור מאתגר כזה מילת המפתח היא "דיור ארעי".

דיירים: באזור מחייה מאתגר זה ניתן למצוא את הצדפות מהמין "סירת משה"



↑ צדפה מהמין *Mactra stultorum*, מאכלסת של אזור הכרית
/ צילום: אורית ברנע



↑ תולעים ממערכת הנמטודה (*Nematoda*) המאכלסות מצע רך במגוון רחב של בתי גידול / צילום: אורית ברנע



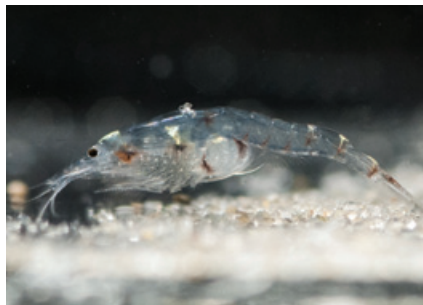
↑ סרטן איזופוד (Eurydice sp.) שחי בחול / צילום: לירון גורן



↑ סרטן אמפיפוד שחי בחול / צילום: לירון גורן



↑ תולעת רב זיפית (Neogyptis mediterranea Polychaeta) / צילום: לירון גורן



↑ סרטן (Gastrosaccus sanctus Mysidae) / צילום: לירון גורן

Donax trunculus^[11], שהן בעלות יכולת התחפרות מעולה באמצעות רגל חזקה ושרירית המאפשרת להן להתבסס במהירות בקרקעית מיד עם שוך הגל. בנוסף ניתן למצוא בקו שטיפת הגלים סרטנים ממשפחת ה-Mysidae שבשעות היום מתחפרים בחול הרטוב ובשעות הלילה נמצאים בעמודת המים וניזונים שם^[11]. סרטנים אלה מהווים מזון לעופות מקבוצת החופמאים, המתרוצצים על קו המים, ושולים אותם מהחול הרטוב. בנוסף ניתן למצוא באזור זה אוכלוסיות צפופות של סרטנים נתרנים (*Talitrus saltator*). הנתרנים, המוכרים לפעמים בשמות פרעוש החוף או נתן החוף, שייכים לסדרת הקפזרגליים-Amphipoda. גופם כחוס בצדדים ורגליהם משמשות בחלקן לשחייה ובחלקן לניתור. סרטנים נוספים הנפוצים באזור זה הם סרטנים שווי רגליים (*Isopoda*).

האזור המשתרע מתת-הכרית ועד הים העמוק

האזור המשתרע מתת-הכרית ועד הים העמוק הוא אזור נרחב ביותר שבהגדרתו לא נחשף לאוויר ותמיד מכוסה במים. אזור זה כולל את השטח הפרוש ממרחק קטן מקו החוף ועד מים עמוקים וכולל את שטחי מדף היבשת, מדרון היבשת והים העמוק. אזור תת-הכרית הוא האזור הסמוך לקו החוף בעומקי מים רדודים (עד כ-5 מטר). מדף היבשת כולל את האזור המשתרע מקו החוף ועד עומק של כ-200 מטר בטווחי מרחק משתנים מקו החוף. בים התיכון של ישראל, בדרום הארץ מדף היבשת רחב יותר מאשר בצפונה. בסוף המדף קיים מדרון, שבבסיסו מתחיל אזור הים העמוק (איור 3).

בעלי החיים השוכנים בקרקעית הרכה בתת הכרית שייכים למגוון רחב של קבוצות ביניהם דגי גרם ודגי סחוס ומינים רבים של חסרי חוליות ממערכות שונות: ספוגים, פרוקי רגליים (בעיקר סרטנים), תולעים טבעתיות (כולל תולעים רב זיפיות ו-Echiura), תולעים נימיות (נמטודות), רכיכות (צדפות, חלזונות, דיונונים), צורבים (שושנות-ים, הידרוזואה ונוצות ים), קווצי עור (קיפודי ים, כוכבי ים, מלפפוני ים, נחשוני ים). קיימים מינים שלהם טווח תפוצה רחב ואחרים בעלי טווח מצומצם לכל אחד ואחד מהמינים צורה ייחודית ואסטרטגיית חיים שונה. האזור הנרחב המשתרע מתת-הכרית ועד הים העמוק כולל מספר בתי גידול ("שכונות מגורים") בחגורות הנפרשות בקווים מקבילים לקו החוף (איור 4):

"שכונה" א': מעומק של 2 מטר ועד עומק של 30 מ'

תנאים: אזור זה מאופיין בתשתית חולית (חול קוורץ) עם מעט חומר גירני (שלדי בעלי חיים שהתפוררו כדוגמת שברי צדפים, שלדי קיפודי ים, סרטנים וכד') והוא מושפע מאנרגיית הגלים ומתאורה חזקה. בימים של סערות קיים ערבול חזק ביותר והפרעה מתמדת לתשתית החולית.

דיירים: שייכים לקבוצות שונות: תולעים רב זיפיות מסוגים שונים, חלזונות כדוגמת אקון חגור וסטרומבוס מקושט (חלזון מהגר) הנע על המצע ומשאיר שבילים

עשבי הים – "השכונה" שנעלמה מחופינו

תחום העומקים 2-30 מטר, שבו יש תאורה מיטבית, מאפשר את קיומם של מרבדי עשבי ים. על פי מקורות שונים, מרבדים כאלה של עשב ים מהמין גלית גדולה *Cymodocea nodosa* אכן התקיימו במספר אתרים מול חופי ישראל^[13,14]. עשבי ים הם צמחים עילאיים אשר להם התאמות ייחודיות לחיים במים המלוחים של הים. מרבדים של עשבי ים מהווים מערכת אקולוגית בעלת ערכיות רבה, התומכת במגוון ביולוגי גבוה, לרבות כאזור אומנה לדגיגים צעירים וכאתר הזנה לצבי ים. כיום, אין מידע עדכני לגבי קיומם של מרבדי עשבי ים וייתכן כי אלה נפגעו ואף נעלמו כליל מישראל אולי כתוצאה מפעילותן של ספינות המכמורת.

הדומים לסימני גלגלי מכונית, צדפות שונות כדוגמת ערבה מצויה, ליביה חלודה, קיפודי ים מהמין לבב מתחפר *Echinocardium cordatum* המחופרים בתוך המצע ובונים לעצמם תעלת קישור עם פני המצע דרכה הם שומרים על אספקת מים מחומצנים, סרטני נזיר המוסווים בתוך קונכיות של חלזונות מתרוצצים על הקרקעית ומלקטים שיירי חומר אורגני וסרטן "שרימפ" מהמין *Marsupenaeus japonicus* (המהווה שלל מועדף על דייגי המכמורת).

איור 5: בתי הגידול של המצע הרך והמינים המייצגים שלהם. באיור ניתן לראות את המיקום של בעל החיים ביחס למצע (בתוכו, עליו או מעליו). פירוט שמות האורגניזמים בהתאם למספר באיור, נמצא בטבלה בעמ' 28. / איור: אלכסיי מליק-אדמוב



מס'	שם לועזי	שם עברי	סוג בעל החיים
אזור החוף החולי			
1	<i>Chelonia mydas</i>	צב ים ירוק (אזור הטלה)	צב ים
2	<i>Ocyrops cursor</i>	חולון החוף	סרטן
אזור הכרית 0 – 2 מ'			
3	<i>Donax trunculus</i>	סירה קטומה	צדפה
4	<i>gastrosaccus mediterraneus</i>	כיסן החוף	סרטן
2 – 30 מ'			
5	<i>Conomurex persicus</i>	סטרומבוס מקושט	חלזון
6	<i>Mactra stultorum</i>	ערבה מצויה	צדפה
7	<i>Diogenes pugilator</i>	סרטן נזיר	סרטן נזיר
8	<i>Solea solea</i>	סולית מצויה	דג
9	<i>Dasyatis pastinata</i>	טריגון חד-אף	דג שחוס
10	<i>Nephtys hombergi</i>		תולעת
11	<i>Magelona equilamellae</i>		תולעת
12	<i>Ampelisca</i>	סרטן קפזרגל	סרטן
13	<i>Echinocardium cordatum</i>	לבב מתחפר	קיפוד ים
14	<i>Trachysalambria palestinesis</i>		סרטן ארוך בטן (שרימפ)
15	<i>Nassarius circumcinctus</i>	אקון	חלזון
30 – 60 מ'			
16	<i>Corbulla gibba</i>	סלסלית גבונית	צדפה
17	<i>Sabella pavonina</i>	נרתיקנית	תולעת
18	<i>Upeneus mollucensis</i>	אופון זהוב פס	דג
19	<i>Pecten jacobaeus</i>	מסרק יעקב	צדפה
20	<i>Marsupenaeus japonicus</i>		סרטן ארוך בטן (שרימפ)
21	<i>Ebalia nux</i>		סרטן
60 – 200 מ'			
22	<i>Astropecten bispinosus</i>		כוכב ים
23	<i>Alcyonium palmatum</i>		אלמוג רך
24	<i>Pennatula rubra</i>	נוצת ים אדומה	נוצת ים
25	<i>Sternaspis scutata</i>		תולעת
26	<i>Aporrhais pespelecanis</i>	אפוראיס כף-שקנאי	חלזון
27	<i>Ophiura texturata</i>		נחשון ים

"שכונה" ב': מעומק 30-60 מ'

תנאים: התנאים מתחילים להתייבש והשפעתם של גלים וזרמים קטנה, גודל הגרגר קטן ואחוז הטין מתחיל לעלות (ראה איור 2). בעומקי מים של 40 מטרים ועמוק יותר נראית הקרקעית די שוממה למתבונן. עדות לפעילות ביולוגית נראית בפני הקרקעית בדמות מחילות, תלוליות, ותנועות חול מקומיות (תוצר של חפירה על ידי בעלי חיים).

דיירים: תולעים רב זיפיות נייחות ממשפחת ה-*Sabellidae* הפורשות אל המים מניפת זרועות סינון. צדפות ממינים שונים כדוגמת סלסלית גבנונית המחופרת במצע וצדפה מהמין מסרק יעקב שנמצאת על המצע וניחנה ביכולת תנועה ובריחה מרשימה באמצעות הזרמת סילוני מים דרך פתחי גופה.

"שכונה" ג': מעומק 60-200 מ'

תנאים: המצע חרסיתי-טיני ודומה במרקם שלו לבוץ-חימר. גם באזור זה ניכרים חורים, תלוליות וגומות בצורות שונות שמקורן בפעילות בעלי חיים.

דיירים: נוצות ים מהמין *Pennatula rubra* בולטות מהקרקעית אל גוף המים וניכרות בצבען הכתום, כוכבי ים מהמין *Astropecten bispinosus* נמצאים על הקרקעית ולפעמים מתחפרים בגומות רדודות, תולעת רב זיפית מהמין *Sternaspis scutata* שהיא בעלת צורה יחודית ומוזרה, אלמוג רך מהמין *Alcyonium palmatum*, וגם קיפודים וסרטנים שונים^[11].



↑ בורות, שקעים ותלוליות בקרקעית. לא ניתן לדעת בברור איזו חיה יצרה אותם אך ניתן לשער כי מתחת לפני השטח מצויות צדפות, סרטנים, תולעים וקיפודי ים / צילום: רמי צדוק

מסתרי מצולות הים

במעמקי הים, בתנאי תאורה אפסית ובלחץ אטמוספירי גבוה ביותר מתקיימים בעלי חיים שונים ומשונים המסתמכים על "נשורת" ביולוגית הצונחת מהשכבות העליונות של הים ומגיעה אל הקרקעית (באנגלית נקראת התופעה "*Marine snow*", "שלג ימי", כיוון שהחומר הביולוגי מגיע אל המעמקים כפתייתם לבנים).

אזור הים העמוק היווה מאז ומתמיד השראה לסיפורים וסרטים, ומעטים הם האמצעים שמאפשרים מחקר של סביבת חיים עלומה זו.

אחד האמצעים העיקריים המשמשים כעיניים פקוחות בים העמוק הוא רובוט לא מאויש (ROV) המונחה בשלט רחוק מספינת-אם המשייטת במרחק קטן ממנו ומעליו. עד ראשית המאה ה-20 האזור העמוק של הים התיכון נחשב "נטול חיים". במהלך שלושת העשורים האחרונים, עם התפתחות הטכנולוגיה של ציוד הדגימה, שיטות המדידה והניטור הסביבתי ובד בבד עם שגשוג תכניות מחקר רב-תחומיות, השתנו ההערכות הקודמות. כיום ידוע כי סביבת הים העמוק (בים התיכון) היא סביבת חיים דינמית המושפעת מתהליכים המתרחשים בעמודת המים.

הצצה אל העולם הנסתר של מצולות הים התאפשרה לפני מספר שנים בעזרת

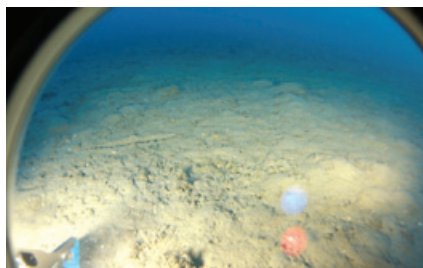


↑ הדג עכשבנון שחור פה *Helicolenus dactylopterus* [מימין] וסרטנים ארוכי בטן [משמאל] שתועדו במצלמות רובוט תת ימי מסוג Remora 6000 בעומק של כ-600 מ' על מדרון היבשת במהלך סקר שערכו חברת EDT ורשות הטבע והגנים מול חוף הכרמל

סקר שערכה רשות הטבע והגנים באזור שנמצא מערבית לעתלית בעומקי מים של 1000-100 מטר. בעומקי מים שבין 520 מטר ועד כ-900 מטר נראתה קרקעית רכה וטינית עם הרבה תולדות וחורים^[15]. בעזרת הרובוט שהורד מהספינה ניתן היה לחזות בנעשה על הקרקעית ונצפו סוגים שונים של בעלי חיים. הקבוצות השכיחות ביותר שנצפו היו דגים וסרטנים ארוכי בטן (שרימפ). אחד הדגים שנצפו בתדירות גבוהה שייך למין – *Bathypterois mediterraneu* אשר ידוע בכינויו "דג חצובה" על שום מבנה הסנפירים שלו הדומה לרגליים של חצובה (*Tripod Fish*). תאורת הרובוט נתקלה מדי פעם בכמות גדולה של עיניים מנצנצות בחשיכה. עיניים אלו הן עיניהם של סרטני השרימפס שמתגודדים באזורים שונים בים העמוק (ככל הנראה במקומות עם ריכוזי מזון). מדי פעם נראו מעין חוטים ארוכים הבולטים מהקרקעית לגוף המים, מבט קרוב גילה כי אלו נוצות ים (שייכות לקבוצת תת-מחלקת אלמוגי השמונה). בנוסף נראו כוכבי ים, מלפפוני ים, סרטני נזיר ועוד מינים של דגים ●



↑ נוצת ים בעומק 90 מ' / צילום: אורית ברנע ורמי צדוק, באמצעות רובוט תת מימי



↑ קרקעית טינית אופיינית בעומק 60 מ' / צילום: אורית ברנע ורמי צדוק, באמצעות רובוט תת מימי

6. "הישרדות": הפטנטים של בעלי החיים למצע הרך

הקרקעית הרכה היא סביבת חיים מאתגרת במיוחד לקיום יצורים חיים. הקרקעית מתאפיינת בהיותה מצע לא יציב, חשוף לפעילות גלים וזרמים (כתלות בעומק וגורמים נוספים) ובעל מורכבות מבנית נמוכה (אין כמעט מבנים תלת-מימדיים/ כוכים/קירות וכד'). בסביבה כזו קשה למצוא מקומות מסתור מוגנים ויציבים. במים רדודים המצע הרך משתנה תדיר בהתאם להסעת הסדימנט עם זרמי המים.

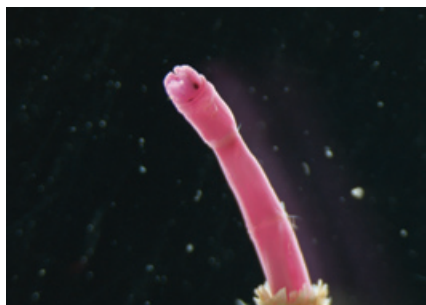
בתוך המרחבים האחידים של משטחי המצע הרך, המזכירים דיונות מדבריות, מסתתר עולם שלם של חיים המתקיים בין גרגרי החול ובעומק של עד מספר ס"מ בתוכו. עולם זה משמש גם כבסיס לקיומם של בעלי חיים נוספים שחיים בעמודת המים שמעל הקרקעית.

תולעים רב זיפיות

אחת הקבוצות הדומיננטיות בנוכחותה במצע הרך בכל העומקים. התולעים הרב זיפיות שייכות למערכת התולעים הטבעתיות *Annelida* והיא מונה כ-11,000 מינים שונים. מגוון המופעים של תולעים אלה הוא אדיר וכך גם מגוון אסטרטגיות התזונה והחיים. להלן יובאו מספר דוגמאות של משפחות תולעים רב זיפיות שנמצאות באזור הים התיכון הישראלי:

משפחה: Oweniidae

תולעים ממשפחה זו חיות בתוך נרתיק שמורכב מגרגרי חול המודבקים בריד. הנרתיק הגמיש והמשוריין יוצר עבור התולעת מיקרו סביבה מוגנת בתוך המצע החולי. החלק הקדמי מאופיין בנוכחות תוספתנים רכים משוננים שסובבים את הפרק הקדמי של התולעת. / צילום: אורית ברנע





משפחה: Maldanidae "תולעי במבוק"

תולעים ממשפחה זו נקראות גם "תולעי במבוק" בעיקר מכיוון שהגוף שלהן מזכיר גזע במבוק. הראש חסר תוספתנים. בקצה האחורי של הגוף נמצא פרק בצורת טבעת משוננת דמויית פרח. התולעים חיות בנרתיק שעליו מודבקים גרגרי חול, שברי צדפים או בוץ. פתח הנרתיק בולט לעיתים מעל החול / צילום: אורית ברנע ←



משפחה: Glyceridae

תולעים טורפות הניזונות על חסרי חוליות. הן בעלות לוע שנשלף מחוץ לגוף התולעת ומצויד בארבעה קרסים קשיחים וכהים. תולעים ממשפחה זו ניידות בתוך המצע או עליו.



משפחה: Sabellidae

תולעים המסננות חלקיקים מגוף המים. גופן מאורך ובקצהו הקדמי ניתן לראות מניפת זרועות הדומות לנוצות (בעזרתן מסננת התולעת). תולעים ממשפחה זו הינן ישיבות וחיות בתוך נרתיק העשוי חומר רירי אליו מודבקים גרגרי חול/טיין. / צילום: אורית ברנע ←



משפחה: Magelonidae

במשפחה זו מוכר רק סוג אחד Magelona. תולעים מסוג זה מזוהות בקלות על יד גופן הארוך, זוג מחושים קדמיים ארוכים ומנוצים ופרק גוף ראשון דמוי את-חפירה.

/ צילום: אורית ברנע ←

דג משה רבנו (סדרה: Pleuronectiformes)

לרבים מאיתנו מוכר הדג הזה מהמקפואים במרכולים – דג הסול הידוע. שמו מגיע מהיותו שטוח ופחוס וצורתו הדומה לסוליה. דגים אלה, מתאפיינים בנוסף להיותם שטוחים בזוג עיניים המצוי בצד אחד של הגוף. בכל דג סול צעיר, עורכת אחת מהעיניים מסע נדידה מופלא המדגים את תהליך ההתאמה האבולוציוני של מין זה לחיים בצמוד לקרקעית.

בשלב הירוולי (שלב התפתחות בין העובר לבוגר) כל עין נמצאת בצד אחר של הגוף. העין הנודדת מתחילה את מסעה לאחר שהלרווה של הדג עברה מטמורפזה לשלב "צעיר" ואז מתחילה אחת העיניים לנוע לכיוון הקצה העליון של הראש ואל עבר העין הנמצאת בצד הגוף השני. ה"טיול" של העין נמשך שישה שבועות, ובסופו מגיעה העין בסמוך לעין הנוספת. במהלך ה"טיול" חל גם עיוות בגולגולת הדגיג ובסופו של דבר נוטה הדג בהדרגה לצד חסר העיניים ויורד לאיטו לקרקעית הים^[6]. עיוות הראש גורם לכך שפיהם של הדגים מצוי בכוון הצד התחתון של הגוף. דבר זה



↑ דג סולית מהמין לשונית ערבית. תהליך הנדידה של העין מושלם בדג הבוגר, וכך שתי העיניים מצויות באותו צד של הגוף, ומאפשרות לדג לראות את המים שמעליו, תוך כדי שהוא ניזון מהקרקעית / צילום: עוז ריטנר

קשור בעובדה שהם ניזונים בעיקר מבעלי חיים המצויים על הקרקעית או בתוכה כגון רכיכות, קיפודי ים קטנים, סרטנים זעירים ותולעים^[17]. דגים אלה חיים באזור הקרקעית הרכה כשהם מתחפרים באופן חלקי או לגמרי ורק עיניהם מציצות מעל פני החול. הם ניחנים ביכולת לשנות את צבעם במהירות ובכך מתאפשרת הסוואתם המושלמת עם צבעי הקרקעית עליה הם חיים. באזורנו מוכרים 3 מינים שונים: סולית צהובה, סולית עינונית וסולית מצויה כשהאחרון הוא מין עם חשיבות כלכלית ונדוג בדיג מכמורת^[17].

צדפות – ה"תמי 4" של הים

צדפות הינן מחלקה של רכיכות בעלות גוף רך הנתון בתוך שתי קשוות. הצדפות חסרות ראש אך יש להן אברי חישה בשולי הרקמה הרכה.

התזונה של הצדפות, כמו גם הנשימה, מתבססת על היכולת להכניס מים אל גופן ולהוציאם אחרי ניצול המזון והחמצן. תנועת המים מתאפשרת על ידי שני צינורות (סיפונים). המים הנשאבים עוברים דרך מערכת מורכבת של זימים שמאפשרת גם קליטת חמצן וגם סינון יעיל מאוד על ידי משטחי ריסים המכסים את הזימים^[18]. תנועת הריסים מסייעת גם בהזרמת המים וגם בלכידת מזון והובלתו אל הפה. במצע החולי קשה לראות צדפות חיות מכיוון שהן מחופרות בתוכו ורק הסיפונים שלהן בולטים אל המים.

כשצדפה מתה, מתרפים השרירים הסוגרים את שתי הקשוות ולכן תוך זמן קצר הן יפרדו. אם מצאתם צדפה סגורה על חוף הים, רוב הסיכויים כי היא עדיין חיה.

סרטן נזיר (על-משפחה: Paguroidea)

מרחבי החול במים הרדודים מזכירים דיונות חול והם מתאפיינים בנוף מונוטוני בגוון חיוור. בשעות היום קל מאוד לזהות בעלי חיים כהים על רקע המצע הבהיר ועל כן בעלי חיים שנעים על הקרקעית באופן גלוי חייבים להיות מוגנים באמצעים

כלשהם מפני טריפה. אחד הפתרונות המעניינים לאמצעי הגנה יעיל בסביבה זו מיוצג על ידי סרטני נזיר. לסרטנים אלה יש בטן מעוקלת ולא סימטרית. בניגוד לסרטנים אחרים, הבטן שלהם רכה ומאפשרת להם להשתחל אל קונכיה נטושה של חילזון ובכך לשמש להם מעין שלד חיצוני קשיח ומסתור בעת הצורך. סרטני הנזיר נעים על המצע החולי וניזונים על ידי ליקוט חומר צמחי או חומר רקבובי^[2].

כשהסרטן גדל הוא נזקק להחליף את הקונכיה שלו בקונכיה גדולה יותר. במידה והוא מוצא קונכיה ריקה הוא יצא מהקונכיה שלו וימדוד את הקונכיה החדשה באמצעות השתחלות לתוכה. במידה והמידה מתאימה הוא יאמץ אותה אך במידה ולא, יחזור לקונכיה הקודמת. לאחרונה תיעדו חוקרים בקריביים תופעה מעניינת של התנהגות חברתית מורכבת של סרטני נזיר שקשורה בהחלפת הקונכיה. התנהגות זו כונתה "*Synchronous vacancy chain*"^[19]. כאשר לפרט מסויים הוצגה קונכיה גדולה מכפי מידותיו הוא חזר לקונכייתו אך לא נטש את הקונכיה החדשה וחיכה לידה בין 15 דקות ועד 8 שעות שבמהלכן הגיעו פרטים נוספים למדוד את



↑ סרטן נזיר מאזור חולי (Diogenes) / צילום: לירון גורן

הקונוכיה. במקום הצטברו עד כ-20 פרטים של סרטנים שהסתדרו לפי גודלם. כאשר הגיע פרט שהתאים בגודלו לקונוכיה הפנויה, החל תהליך מסודר של פינוי קונוכיות כאשר כל פרט מאמץ את הקונוכיה של הפרט הגדול יותר בתור. לעיתים נצפתה גם התנהגות אגרסיבית.

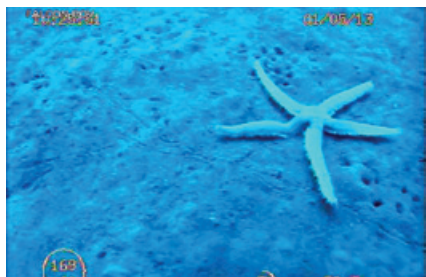
נוצות ים

נוצת הים, כשמה כן היא, מזכירה בצורתה נוצה של בעל כנף (תמונה בעמ' 31), אך למעשה זהו בעל חיים הקרוב מבחינה טקסונומית לאלמוגים. נוצת הים הינה מושבה שמורכבת מפוליפים (יחידת מבנה בעלת פה וזרועות ציד-המזכירה בצורתה שושנת ים) ממספר סוגים. החלק העליון של המושבה נושא פוליפים, במרכז המושבה יש עמוד מרכזי שבתוכו שלד העשוי מחומר קרני (דומה במבנהו לציפורן) וחלקה התחתון אינו נושא פוליפים והוא שקוע בקרקעית ומעגן את המושבה למצע. ברחבי העולם ניתן למצוא נוצות ים בטווח עומקים רחב החל ממספר מטרים ועד 6100 מ' ^[20]. נוצות הים נמצאות באזורינו בעומקים הגדולים מ-50 מ' באזורים בהם הקרקעית חרסיתית-טינית ואחד המינים הנפוצים הינו *Pennatula rubra* ^[11].

נוצות הים ניזונות מחלקיקי חומר אורגני שנמצאים בעמודת המים והן ניחנות ביכולת לעגן את עצמן מחדש למצע במידה ונתלשו או כוסו בסדימנט ^[2]. נוצות הים נפגעות מדיג מכמורת הגורר רשת על הקרקעית.

כוכבי ים

כוכבי ים הם בעלי חיים טורפים המוכרים בזכות צורת הכוכב שלהם. הם נפוצים במגוון רחב של סביבות חיים קרקעיות וגם במצע הרך. מבנה גופם פחוס והפה מצוי בעמדה תחתית, כמו גם "רגלי מים" זעירות ורבות שיוצאות מחורים המסודרים בתעלות (לאורך זרועות כוכב הים) הנמצאות בחלק התחתני של הגוף



↑ כוכב ים על קרקעית מצע רך בעומק 96 מ' מול חוף פולג
/ צילום: אורית ברנע ורמי צדוק



↑ מי השאיר את הסימן על הקרקעית? התשובה בתמונה
משמאל... / צילום: אורית ברנע ורמי צדוק

ומאפשרות את תנועת הכוכב.

כוכבי הים טורפים חסרי חוליות אחרים בסביבתם באמצעות מנגנון מפתיע: קיבה הנשלפת אל מחוץ לגופם דרך פתח הפה, עוטפת את הטרף ומתחילה בעיכולו באופן מיידי. באופן כזה הם יכולים לטרוף גם בעלי חיים אשר גדולים מגודל פתח הפה שלהם. פני גופם של כוכבי הים מכילים לוחיות שלד מקלציום קרבונוט ולעיתים גם נושאים קוצים המגנים עליהם מפני טריפה. במצע הרך בעומקי מים העולים על 50 מטר ניתן להבחין בשקעוריות בדוגמת כוכב במקומות שבהם התחפרו כוכבי ים תודות לאופייה הבוצי של הקרקעית^[2].

קיפודי ים

קיפודי ים משתייכים לאותה המערכה אליה משתייכים כוכבי הים, מערכת קווצי העור. לרבים מאיתנו מצטייר קיפוד הים כחיה מלאה בקוצים שחורים, ארוכים ודוקרים. קיפודי הים של המצע הרך הינם שונים ומתאפיינים בגוף ביצתי (צורתו מזכירה ביצה) ובקוצים רבים, עדינים וקצרים המכסים את כל הגוף. הם דומים במראם דווקא לעכברים. הקוצים הקצרים משמשים בעיקר לתנועת חפירה בחול

ולהרחקת חול מאזור הגוף. קיפודי הים מהסוג לבב מתחפר (*Echinocardium cordatum*) מסוגלים להתחפר במצע עד כדי 10 ס"מ תוך שהם שומרים על תעלה שמקשרת אותם לפני המצע. הם ניזונים מחלקיקים אורגניים שנמצאים בתוך המצע שהם מלקטים באמצעות רגליים קטנטנות שנמצאות מסביב לפתח הפה.

תופעה מעניינת בהקשר לקיפודי הים מהסוג "לבב" היא מינים אחרים שחיים איתם בשיתוף, למשל צדפות מסוימות שחיות בתוך התעלה ופרטים צעירים של



↑ קיפודי ים מסוג "לבב" מתחפר בחול / צילום: לירון גורן

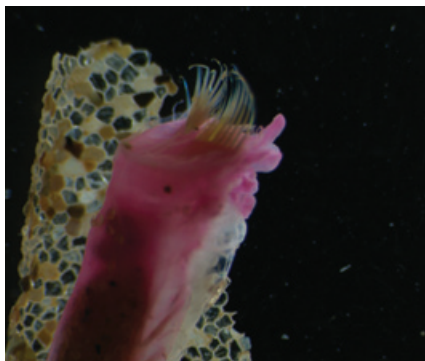
צדפה מהסוג *Montacuta* נמצאו כשהם מחוברים לקוצי הקיפוד^[21]. גם סרטן קפזרגלי מהסוג *Urothoe* התגלה כדייר בתעלות של הקיפודים.

תולעי "גביע הגלידה" (*Pectinariidae*)

משפחה של תולעים רב זיפיות המזוהות בעיקר על פי הנרתיק שבו הן חיות, העשוי משכבה אחת של גרגרי חול המודבקים ליצירת מבנה המזכיר "גביע גלידה".

בנוסף יש לתולעים מעין זוג מסרקים (*paleae*) בצבע זהוב המופיעים בפרק הראשון של הגוף (שמאוחה לראש) ליד הפה ומשמשים לחפירה בסדימנט, ומאפשרים גם סגירה של פתח הנרתיק בצורה שמאפשרת הגנה מפני טורפים. התולעת ממוקמת בחול כשהחלק הרחב של הנרתיק פונה למטה והיא משתמשת בזוג המסרקים לנבירה בו.

התולעת אוספת גרגרי חול עם חומר אורגני בעזרת זרועות שמקיפות את אזור הפה, ממיינת אותם, מעכלת את החומר האורגני ומפרישה חזרה אל הסדימנט גללים שמכילים גם גרגרי חול (מעין תהליך של מיחזור)^[22].



↑ תולעי "גביע גלידה" / צילום: אורית ברנע

החי בתוך המצע כחיישן סביבתי

בעלי חיים החיים בתוך המצע הרך משמשים כחיישן לשינויים המתרחשים בסביבה הימית. שינויים בתנאים הסביבתיים, כדוגמת זיהום כלשהו או שינוי במליחות/טמפרטורה/גודל הגרגר, גוררים אחריהם שינויים במבנה חברת בעלי החיים והמיקרו-אורגניזמים שנמצאת באותו מקום. מכיוון שהשינויים יכולים להיות מהירים (בטווח של חודשים) המעקב אחר מבנה חברת בעלי החיים הנמצאת בקרקעית יכול לתת אינדיקציה יעילה לשינוי בתנאי הסביבה. לכן, ברוב תכניות הניטור של מתקנים ימיים כגון תחנות כוח חופיות, מתקני התפלה וכד' מחייב המשרד להגנת הסביבה ביצוע של ניטור "החי בתוך המצע". מלבד ההרכב הכללי של חברת בעלי החיים, מציאותם או חסרונם של בעלי חיים מסוימים מסביבת חיים זו או אחרת, יכולה לשמש כסמן למצב הסביבה. קיימים מינים הרגישים להפרעות או עמידים להפרעות, לעומת כאלה שניחנו ביכולת להסתגל אליהן. ישנם מינים שנמצאו על ידי חוקרים כיכולים לשמש סמן למצב הסביבה – ביואינדיקטורים (למשל, ריבוי תולעים רב זיפיות ממשפחת ה-*Capitellidae* נמצא כסמן להעשרה אורגנית-הזרמת ביוב למשל^[23]). בנוסף לתכניות הניטור היעודיות משמשת חברת חי תוך המצע כחיישן לשינויים סביבתיים כללים לאורך החוף הישראלי במסגרת ניטור איכות מי החופין של ישראל המבוצע ע"י חקר ימים ואגמים לישראל עבור המשרד להגנת הסביבה זה 11 שנה^[41] •

7. איומים על המצע הרך

שינוי בתנאים הכימיים והפרעה פיזית למצע מהווים איום על בתי הגידול של הקרקעית הרכה ועל בעלי החיים השוכנים בהם. פרק זה סוקר את האיומים השונים כפי שמוכרים מאזורים שונים בארץ או באופן כללי.

1.	סוג האיום	שינויים בתוואי החוף החולי עלולים להתרחש עם הפעלת תכנית ההגנה למצוקי החוף, אשר תכלול תוספת אלמנטים קשיחים באזור החוף (קירות ים) או במרחק כלשהו מקו החוף (שוברי גלים, גיאויטוב וכד').
	על מה מאיים?	על אזור החוף החולי שבסמוך לאלמנט הקשיח או על האזורים שבמורד הזרם מהמבנים הקשיחים שנמצאים במים.
	ההשפעות השליליות הצפויות	לאמצעי מיגון כמו קירות ים יש השפעה על עצמת וכיוון הזרמים והגלים בחוף והם עלולים לגרום לגריעת חול ולהשפעה על מגוון ועושר המינים באזור החוף. חוף שבקצהו קיר יחזיר את אנרגיית הגלים, והוא נקרא חוף רפלקטיבי. בחוף כזה, המים "מתנגשים" במבנה הקשיח ובתנועתם חזרה לכיוון הים גורפים עמם את גרגרי החול אשר מוסעים עם הזרם השולט. השפעת שוברי גלים היא לעיתים בהרחבה של החוף החולי ולעתים בהצרה שלו. למשל, שוברי הגלים שנבנו על מנת למנוע את שחיקת החוף מצפון למרינה הרצליה, למעשה גרמו לדחיקת ההשפעה עוד צפונה (באזור אפולוניה). מצפון לשוברי הגלים רוחב החוף החולי הצטמצם ב-12 עד 15 מטר ^[24] .

2	סוג האיום	יבוש ים והקמת מבנים ימיים ושוברי גלים: פעולות שמתוכננות במסגרת הרחבת נמלים ומרינות ובמסגרת פעולות להגנת המצוק החופי לאורך חוף הים התיכון הישראלי (כחלק מהתכנית להגנת מצוקי החוף)
	על מה מאיים?	בית הגידול של המצע הרך באזור החוף והמים הרדודים
	ההשפעות השליליות הצפויות	יבוש ים פוגע ישירות בבית הגידול. הקמת מבנים ימיים עלולה לשנות אזורים של מצע רך עלולים לשנות כליל את אופיים ברמה המקומית בעקבות החדרת מבנים ואלמנטים קשיחים לים בקנה מידה נרחב. התיישבות של בעלי חיים ואצות על מצע קשיח מלאכותי גורמת לשינוי של הרכב חברת החי המקומית ועלולה להביא להעשרה מקומית בחומרים אורגניים שמקורם מפעילות תזונה והפרשות של חברת החי החדשה. הפרשות כאלה מגיעות אל הקרקעית החולית שבסמוך למבנים הקשיחים ועלולות לגרום לשינוי מקומי בתנאים הסביבתיים.
3.	סוג האיום	בנייה באזור החוף (טיילות למשל)
	על מה מאיים?	על רצועת החוף החולי
	ההשפעות השליליות הצפויות	צמצום שטחי מצע חולי באזור העל כרית והקטנת תחום המחיה של מינים שזהו בית גידולם (הסרטן חולון החוף). בנוסף, קיים פוטנציאל פגיעה בתהליך הרבייה של צבי הים המצויים בסכנת הכחדה.

4.	סוג האיום	נסיעה על קו החוף וחרישה של חופי רחצה
	על מה מאיים?	אזור העל כרית בחוף החולי
	ההשפעות השליליות הצפויות	פגיעה במחילות של הסרטן חולון החוף, פגיעה פוטנציאלית בביצים של צבי ים הנמצאות בתוך קינים שנחפרו באזור החוף
5.	סוג האיום	זיהומים כימיים ממקורות שונים. לדוגמא אזור מוצא השפד"ן (ממוקם כ-5 ק"מ מהחוף בעומק 38 מ')
	על מה מאיים?	בתי גידול של מצערך בעומקים הרלוונטים
	ההשפעות השליליות הצפויות	השפעות בטווחים משתנים על מיני החי על המצע ובתוך המצע ועל המדדים האקולוגיים המאפיינים את החברה (כגון מגוון מינים, מספר פרטים, שינויים בהרכב חברת החי), ובאופן עקיף גם על בעלי החיים בעמודת המים. באזור מוצא השפד"ן ובתחנות דיגום מרוחקות עד כדי 7 ק"מ ממנו ניכר כי בקרקעית קיימת העשרה אורגנית ברמה גבוהה, מה שגורם לעושר פרטים של בעלי חיים אופורטוניסטים ועמידים לזיהום, עד למרחק של 7 ק"מ מהמוצא. במספר תחנות דיגום המצויות בקרבת המוצא, אין כלל בעלי חיים^[25]. סיכון נוסף עלול להיגרם מפליטה של מתכות כבדות, גם בריכוזים נמוכים, לגוף המים.

6.	סוג האיום	דיג מכמורת
	על מה מאיים?	אזורי קרקעית רכה בטווח העומקים בו פעילות ספינות המכמורת בעיקר בעומקים 100-20 מ'
	ההשפעות השליליות הצפויות	בית הגידול של הקרקעית הרכה "נחרש" באופן שיטתי לאורך חופי הארץ בטווח עומקים רחב על-ידי ספינות דיג מכמורת (העוסק בדיג של דגה מסחרית המצויה במצע החולי, כמו סרטני שרימפ, דגי מולית ועוד). דיג המכמורת הוא שיטת דיג לא סלקטיבית שפוגעת באופן פיזי בקרקעית, משנה את המורפולוגיה והמורכבות של הקרקעית, וכן פוגעת ביצרנות ובתפקוד של בעלי החיים שוכני הקרקעית, וגורמת לקטילתם של מגוון רחב של בעלי חיים – בעלי ערך מסחרי, חסרי ערך מסחרי ומינים מוגנים^[26,27]. נזק נגרם לאתרי הרבייה והאומנה של מיני דגים וחסרי חוליות רבים. ענן גדול של סדימנט עולה ומפריע לכל בעלי החיים שנותרו, ובעיקר לאלו שניזונים בסיון. הרשתות פוגעות גם בבעלי חיים השוחים במים הפתוחים ואינם מהווים מטרה לדיג, כגון צבי ים ויונקים ימיים^[28]. הנזק לבעלי החיים ולסביבת הקרקעית עולה ביחס ישיר לעומק, וזאת מכיוון שעם העלייה בעומק הולכים ומתייצבים התנאים הפיזיקליים של סביבת הקרקעית (השפעת הגלים פוחתת), ועולה שכיוותם של בעלי חיים שמשפיעים על מבנה הקרקעית. עם זאת, הדיג במים הרדודים פוגע בדגיגים צעירים, הנוטים להתרכז במים בעומקים אלה, ולכן דיג במים רדודים פוגע בהתחדשות הדגה.

7.	סוג האיום	הקמת תשתיות והנחת צנרות באזורי מצע רך, במסגרת פרויקטים של תעשיית הגז והנפט, התפלה (צנרת יניקה/פליטה) וקווי תקשורת
	על מה מאיים?	אזורי מצע רך שנמצאים בתוואי הנחת הצנרת
	ההשפעות השליליות הצפויות	• פעילות להקמת תשתיות באזורי מצע רך תגרום לפגיעה פיזית בקרקעית שבאזור התשתית ובשוליה והרחפה זמנית של סדימנטים לעמודת המים. • הנזק הפיזי לקרקעית צפוי לגרום לשינויים בפאונה המקומית ופוטנציאל לפגיעה בבעלי חיים כתוצאה משקיעת סדימנטים וכיסויים. • במקרים של הפרעה חד פעמית, צפוי כי בתוך מספר חודשים מתום החפירה, תתאושש אוכלוסית החי תוך המצע ויהיה אכלוס מחדש של האזור שנחפר. במים עמוקים ובאזורים בהם תנועת הזרמים וקצבי הסדימנטציה איטיים, שינוי במאפיינים הפיזיים של הקרקעית עלולים להיוותר על תילם זמן רב. • במקרים של תשתית קבועה מדובר על אבדן שטח של בית גידול זה. • במהלך הקמת התשתית יתכן גם סיכון של העברת מינים פולשים ויצירת זיהום אור על הסביבה הקרובה.

8.	סוג האיום	העשרה אורגנית נקודתית מחוות דגים
	על מה מאיים?	אזורי מצע רך הנמצאים מתחת לכלובי דגים או בסמוך להם
	ההשפעות השליליות הצפויות	גידול דגים בכלובים גורם להעשרה אורגנית מקומית באזורי קרקעית שנמצאים בסמיכות לכלובים (כתלות בגורמים שונים כדוגמת עומק, משטר זרמים וכד'). העשרה כזו נובעת מהאכלת הדגים ומהפרשותיהם. שינוי בתנאים הסביבתיים גורר אחריו שינוי בהרכב חברת החי בסביבה המושפעת מה שיכול להתבטא בירידה במגוון המינים ובהתפרצויות של מינים עמידים ואופורטוניסטים ^[29] . כיום היקף גידול הדגים במזרח הים התיכון הוא מוגבל, אך אם יתממשו תכניות אגף הדיג לפיתוח רחב היקף של חוות דגים, גורם זה עלול להיות משמעותי יותר.
9.	סוג האיום	כריית חול והזנת חול
	על מה מאיים?	אזורים בהם מתוכננת פעילות של כריית חול או הזנת חול
	ההשפעות השליליות הצפויות	- פגיעה מקומית ישירה בבעלי חיים באזור הכרייה - פגיעה עקיפה בבעלי חיים בסמוך לאזור הכרייה כתוצאה מהרחפת סדימנט (בעיקר סדימנט דק גרגר שאינו שימושי למטרות בניה ומוחזר לסביבה הימית), שחרור חומר אורגני ושינוי בתנאי התאורה - שינויים טופוגרפיים בקרקעית כדוגמת יצירת בורות^[30]. - שינויים בהרכב חברת החי באזור הזנת החול כתלות במאפייני החול המוזן ובתדירות פעילות ההזנה.
10	סוג האיום	פלישת מינים
	על מה מאיים?	כל בתי הגידול בים ובכלל זה אזורי מצע רך. תשומת לב מיוחדת יש להקדיש לאזורים שנפגעים באופן כרוני על ידי דיג מכמורת ולכן פגיעים יותר להתבססות פולשים, ולכוונוות להעביר לישראל חול עשיר במינים פולשים ממצרים.

	ההשפעות השליליות הצפויות	פלישת מינים מימים אחרים והתבססותם באגן המזרחי של הים התיכון מהווה את אחד מהאיומים המרכזיים על מגוון המינים באזורנו^[31]. המינים המהגרים אינם מהווים רק "תוספת" למגוון הקיים, אלא במקרים רבים דוחקים את המינים המקומיים, לעתים עד הכחדה מקומית. בהקשר למיני דגים שמהגרים מים סוף, ראוי לציין כי חשיבותם באגן המזרחי של הים התיכון אינה באה לידי ביטוי רק במספר המינים, אלא בעיקר באוכלוסיות הענק שחלק מהם הצליחו למסד בים התיכון ובהצלחתם להתבסס ו"לכבוש" כמעט כל בית גידול^[32].
11	סוג האיום	שינויי אקלים
	על מה מאיים?	בתי הגידול של המצע הרך בתחומי מדף היבשת בעיקר
	ההשפעות השליליות הצפויות	שינויי אקלים בשילוב עם הפרעות ממקור אנושי מהווים את האיומים החמורים ביותר על מגוון המינים בים התיכון^[33]. במהלך 40 השנים האחרונות מתרחשת התחממות של מי הים התיכון, המקלה על התבססות של מינים זרים מהים האדום דרך תעלת סואץ ומסייעת להתפשטות מהירה שלהם צפונה ומערבה^[34,35]. לשינוי אקלימי זה יש השפעה הן על טמפרטורת המינימום והן על טמפרטורת המקסימום. עליה בטמפרטורת המינימום מעל 17.5°C יכולה להוות נקודת מפנה נוספת בשינויי מבנה החברה בשל הסרת מחסום פיסיולוגי ממינים טרופיים רבים שעד כה לא שרדו את החורף. בעקבות ההתחממות יש למינים זרים תרמופיליים יתרון מובהק על פני המינים המקומיים. דומיננטיות של מינים רבים ממוצא טרופי בולטת במיוחד באזורים הדרומיים של הים התיכון, שם מינים ממוצא טרופי מהווים כעת חלק משמעותי מהביוטה. התבססות של מינים פולשים טרופיים עלולה לגרום לחברות הים התיכון לאבד את האופי הייחודי שלהן ולהפוך דומות לחברות טרופיות^[33,36], תהליך שמוגדר כ"שינוי פאזה" (<i>Phase Shift</i>) של מבנה ותפקוד הביוטה בים התיכון^[37].

12	סוג האיום	עליה בחומציות מי הים (ירידה ב- pH)
	על מה מאיים?	בעיקר על בעלי חיים המשקיעים שלד גירני בצורת קונכיה כמו חלזונות וצדפות או בעלי חיים שלהם אלמנטים גירניים ברקמות גופם כמו כוכבי ים, אלמוגים וכד'. עליה בחומציות מי הים (הנמדדת בירידה ב- pH שלהם) גורמת להמסה של מבנים העשויים גיר, או לחוסר יכולת של האורגניזם להשקיע את הגיר מלכתחילה ובכך לפגיעה בתפקודו ^[38] .
	ההשפעות השליליות הצפויות	כמותם של גזי חממה באטמוספירה נמצאת במגמת עלייה וכתוצאה מכך פחמן דו חמצני נקלט במי האוקיינוסים ונגרמת ירידה ב- pH . תופעה זו עלולה להשפיע על אוכלוסיות פלנקטוניות ובטטיות כאחד ^[33] , בעיקר על אלו המשקיעות שלד גירני כגון החוריריות.
13	סוג האיום	תאורה מלאכותית באזור החוף (הן קבועה והן מפעילות נופש ארעית ("זולות"))
	על מה מאיים?	נקבות מטילות של צבי ים ואבקועים של צבי ים.
	ההשפעות השליליות הצפויות	התאורה המלאכותית פוגעת בבחירת אתר הטלה וגורמת לבלבול הצבים הבוקעים ולתנועתם לכיוון האור המלאכותי שבד"כ נמצא בכיוון החוף ולא בכיוון הים ^[12] .
14	סוג האיום	פסולת חופית וימית
	על מה מאיים?	בעלי חיים במארג המזון הימי
	ההשפעות השליליות הצפויות	פסולת (מהים או פסולת מהחוף הנשטפת לים) גורמת לנזקים לבעלי חיים. לדוג', צבי ים לעיתים ניזונים בטעות משקיות פלסטיק. חמורה אף יותר היא בעיית הפסולת החלקיקית ("מיקרו-פלסטיק") אשר נכנסת למארג המזון דרך אורגניזמים מסננים, ומשם מצטברת במעלה מארג המזון.



↑ חוף רחצה חרוש כחלק מפעילות תחזוקה שוטפת / צילום: רמי צדוק



↑ סימני "חרישה" של רשתות מכמורתנים מול חבצלת השרון בעומק קרקעית של 50 מ' / צילום: אורית ברנע ורמי צדוק^[199]

8. המלצות

1. הכרזת שמורות טבע ימיות – שטחי הקרקעית הרכה, למרות היותם נפוצים, דורשים שימור של אזורים מייצגים. בשנים האחרונות גיבשה רשות הטבע והגנים תכנית להכרזת שמורות טבע ימיות כדי להגן על שטחים מייצגים של בתי גידול מאפיינים בקרקעית הים (בית הגידול של הקרקעית הרכה הוא המרכזי שבהם), ועל מגוון המינים בסביבה הימית. העקרונות המנחים המרכזיים בתכנון שמורות ימיות מובילים להצעות להכרזה על שמורות גדולות שיאפשרו הגנה על מערכות אקולוגיות שלמות וכן על בעלי חיים ימיים גדולים שטווח המחיה שלהם רחב^[40]. בהתאם לנתונים ולמצאים שנאספו על-ידי רשות הטבע והגנים מתוכננת הקמתן של שמורות טבע ימיות, שישמרו אזורים מייצגים מבתי הגידול הימיים, הכוללים גם את האזורים בעלי תשתית רכה של חול נודד ואזורים שתשתיתם טינית, לצד אזורים של מצע סלעי קשה ובתי גידול ייחודיים כמו קניונים ורכסי הרים תת ימיים. חשוב לייצג במסגרת השמורות הימיות את כל טווח העומקים וסוגי הסדימנט של המצע הרך, שכן בכל אחד מהם מצויה חברה אקולוגית אופיינית וייחודית.

חשוב מאוד להטמיע בחוק האזורים הימיים את הכלי המרחבי / תכנוני של הגנה על שטח באמצעות שמורת טבע ימית בתחום המים הכלכליים של ישראל.

2. הטמעת שיקולים אקולוגיים בהנחת תשתיות ובתהליכי תכנון ופיתוח – הולחו"ף (הוועדה לשמירת הסביבה החופית) מוסמכת לחייב תכנית הכרוכה בביצוע עבודות בסביבה הימית בביצוע תסקיר השפעה על הסביבה / מסמך סביבתי, שתפקידם להעריך את ההשפעות הסביבתיות של התכנית ולהציע אמצעים להפחתתם. ראוי כי הבדיקות הסביבתיות במסגרת הולחו"ף יהיו מחייבות לכל תכנית, ושכך גם יחויב במסגרת פרק החופים בתמ"א 1. יש להקפיד שהבדיקות הסביבתיות יוטמעו בתכניות, כדי להפחית פגיעה מיותרת באזורים רגישים, תוך שמירה על אמות מידה ואמצעים להכוונת הפיתוח לאזורים מופרים כדי לצמצם את הפגיעה בשטחי המצע הרך.

שילוב גישת המערכות האקולוגיות (*Ecosystem approach*) הוא חיוני על מנת להבטיח את שימור הסביבה הימית בכלל, ובתי הגידול של קרקעית רכה בפרט, גם במסגרת תכנון המרחב הימי שמוביל משרד האוצר (מינהל התכנון), וגם במסגרת הסקר הסביבתי האסטרטגי שמוביל משרד האנרגיה והמים כבסיס לקביעת מדיניות ניצול מקורות האנרגיה בים.

חשוב שהמנגנונים לבחינת השפעה סביבתית מתוך גישת המערכת האקולוגית יוטמעו גם בשטח המים הכלכליים של ישראל, במסגרת חוק האזורים הימיים, לרבות כלים להגנה מרחבית על שטחים ואתרים רגישים, בנוסף להגנה ייחודית על מינים אדומים.

3. הפסקת דיג המכמורת – דיג המכמורת מהווה פגיעה מערכתית בבתי הגידול של המצע הרך וגורם נזק מהותי לתשתית בתי הגידול ולבעלי החיים והצמחים המצויים בו. בנוסף לפגיעה בבית הגידול של הקרקעית הרכה על מרכיביו השונים, לדיג זה השפעות מזיקות רבות על הסביבה: דיג לא סלקטיבי זה מתאפיין באחוז גבוה של שלל לוואי, הפוגע בדגיגים צעירים של מיני המטרה של שיטות דיג אחרות. נזקיו הכלכליים של דיג זה הוערכו ב-860 מיליון ₪, ולכן מוצע לפצות את דייגי המכמורת ולהשבית את ענף דיג זה, לרווחת הסביבה הימית, לשיפור מצב הדגה ולרווחת מרבית הדייגים בישראל^[26].

4. זהירות מונעת בעת פעולות להזנת חול – כאשר מתכננים ביצוע פעילות של הזנת חול יש להקפיד על מקור החול (בין השאר, על מנת למנוע זיהום, שינוי בית הגידול או העתקת מינים פולשים), תוך התאמה בגודל הגרגר בין אתר ההזנה ובין אתר המקור לחול.

5. שמירה על אזורי הטלה בחופים חוליים – כל פעילות פיזית שמתוכננת באזורי חוף חולי (העברת צנרת, חפירה וכד'), שהם אתרים פוטנציאליים להטלה של צבי

ים צריכה להיות מתוזמנת לחודשים בהם לא מתרחשת פעילות הטלה. יש לתאם את הפעילות עם רשות הטבע והגנים. בנוסף, יש לפתח כללים לפעילות פנאי ונופש בחופים חוליים, לרבות מניעת זיהום אור ורעש בעונות ההטלה של צבי הים, ולהטמיע כללים אלה במסגרת חוקי עזר מוניציפליים ובמסגרת חוק שמירת הסביבה החופית.

6. חינוך ומודעות – חינוך וידע הם הבסיס החיוני להכרה בערכי הטבע של שטחי המצע הרך במרחב הימי של ישראל. גם אם לעיתים נדמה כי משטחי החול/טין אינם תומכים במגוון גבוה של בעלי חיים, מי שקרא חוברת זו, יודע כי רבים הם הערכים הנסתרים מהעין וכי גם לדיירי המצע הרך ישנם תפקידים חשובים בקיום השלם של המערכת האקולוגית. חשיפה של בתי הגידול של המצע הרך לציבור הרחב ולציבור מקבלי ההחלטות בישראל תביא להגברת המודעות לצורך בשימורם והגנה על חלקים מייצגים מהם.

7. התמודדות עם שינויי אקלים, החמצת הים ופלישות ביולוגיות – לצד פעולות נדרשות מצד ישראל לצמצום פליטת גזי חממה, יכולתה המירבית של ישראל להתמודד עם הפחתת ההשלכות השליליות של שינויי אקלים בים ממוקדת בהגנה על בתי הגידול. לצורך כך, קידום שמורות ימיות והפחתת פגיעה בבתי הגידול כתוצאה מפעולות דיג ותשתיות היא דרך להתמודדות הטובה ביותר גם עם איום שינויי האקלים, החמצת הים והפלישות הביולוגיות.

8. צמצום מקורות הפסולת – יש לפעול לצמצום מקורות הפסולת המשפיעה על בתי הגידול בים התיכון, בין השאר באמצעות חינוך הציבור, מבצעי ניקיון ואכיפה נחושה.

9. מחקר וניטור – במסגרת הסקר הסביבתי האסטרטגי שעורך משרד התשתיות

הלאומיות, האנרגיה והמים בים התיכון, נערך מיפוי נרחב של בתי הגידול במרחב הים התיכון, על ידי המכון לחקר ימים ואגמים לישראל והמכון הגיאולוגי. למרות זאת, עדיין קיימים פערי ידע גדולים בנושא הרכב ותפקוד החברות האקולוגיות בשטחי המצע הרך, בעיקר בים העמוק (לרבות במים הכלכליים). נדרשים מחקר וניטור ייעודיים לאזור חשוב זה, ניטור פעילויות אדם הנעשות בתחומו, והבטחת נגישותו הציבורית של כל מידע הנאסף במסגרת מחקרים וסקרים במרחב זה •



† גיטרן מובהק, בטאי החי במצע החולי בים התיכון, שנידוג באופן לא חוקי / צילום: שבי רוטמן

רשימת ספרות

- [1] Gray, J. S., and M. Elliott. 2009. The ecology of marine sediments: from science to Management management. Gray, J.S. and Elliott, M. Eds. Oxford University Press Inc. New York. 2nd edition.
- [2] Ruppert, E. E., and R. D. Barnes. 1994. Invertebrate zoology. Saunders College Publishing, USA.
- [3] דו"ח חיא"ל H20/2015+ דו"ח מכון גיאולוגי GSI/11/2015 עבור משרד התשתיות הלאומיות, האנרגיה והמים. סקר אסטרטגי סביבתי לחיפוש ולהפקה של נפט ושל גז טבעי בים-חלק ג'. איסוף וניתוח מידע סביבתי קיים, מיפוי בתי גידול והצעה למדדים לפגיעות אקולוגית בהקשר לפעילות הנדסית של חיפוש והפקת נפט וגז טבעי במרחב הימי של ישראל בים התיכון.
http://energy.gov.il/Subjects/OilSearch/Documents/SEA/IOLR_report_EEZ_territorial_Part_C_190715.pdf
- [4] אלמגור, ג. פרט, א. 2012. חוף הים התיכון של ישראל. משרד האנרגיה והמים, המכון הגיאולוגי. ירושלים, דו"ח מספר GSI/28/2012 מהדורה שלישית מורחבת. נובמבר 2012.
- [5] חיימס-קפצן, א., אדלמן-פורסטנברג, י., לשנו, י., תדיר, ר., בנימיני, ח., אלמוגי-לבין, א. (2012). מאספים חיים ומתים של פורמיניפירה, אוסטרקודה ומולוסקה כסמנים רגישים לשינויים מעשה ידי אדם במדף היבשת הרדוד של הים התיכון הישראלי. דו"ח המכון הגיאולוגי לישראל דוח מס' GSI/36/2012
- [6] www.marinespecies.org/foraminifera/
- [7] Dauwe, B., P. Herman, and C. Heip. 1998. Community structure and bioturbation potential of macrofauna at four North Sea stations with contrasting food supply. Marine Ecology Progress Series. Vol. 173: 67-83.
- [8] ברנע, א. 2010. מגדיר ויזואלי לחסרי חוליות המאכלסים קרקעות חוליות בסביבת תחנות הכח באזור תת-הכרית של החוף הים תיכוני הישראלי. חברת החשמל, רחוב נתיב האור 1 חיפה.
- [9] Caine, E.A. (1998). First case of caprellid amphipod-hydrozoan mutualism. J. Crustac. Biol. 18: 317-320.
- [10] Kaiser, JM, Attrill MJ, Jennings S, Thomas DN, Barnes DKA, Brierley AS, Polunin NVC, Raffaelli DG and le B. Williams PJ (2005). Marine Ecology: Processes, Systems and Impacts. Oxford University Press Inc., New York.

-
- [11] Fishelson, L. (2000). Marine Animal Assemblages Along the Littoral of the Israeli Mediterranean Seashore: The Red-Mediterranean Seas Communities of Species. *Italian Journal of Zoology* 67 (4): 393–415.
- [12] לוי, י. 2011. סיכום פעילות לאישוש אוכלוסיות צבי הים בים תיכון 2011. רשות הטבע והגנים. ירושלים.
- [13] www.iucnredlist.org/details/153535/0;
- [14] קרס, נ., א. שהם פריד, ב. חרות, ו-ב. גליל. 2005. ניטור ימי עבור מתקן עתיד בפלמחים. חיפה.
- [15] יהל, ר. מידע שלא פורסם
- [16] Brewster, B. 1987. Eye migration and cranial development during flatfish metamorphosis: a reappraisal (Teleostei: Pleuronectiformes). *J. Fish. Biol.* 31: 805-833.
- [17] גולני, ד. דרום, ד. 1997. מדריך הדגים של ישראל. ים סוף. הים התיכון. מים מתוקים. כתר הוצאה לאור בע"מ. ירושלים.
- [18] הלר, י. 2011. רכיכות הים של ארץ ישראל. אורחות חיים. אלון ספר. ישראל. 323 עמודים.
- [19] Rotjan, R.D., Chabotc, J.R. and; Lewis, S.M.(2012) Social context of shell acquisition in *Coenobita clypeatus* hermit crabs. *Behavioral Ecology*. April 20120. doi:10.1093/beheco/arq027
- [20] Abdelsalam, K.M. 2014. Faunistic study of benthic Pennatulacea (Cnidaria, Octocorallia) from the Northern coast of Egypt. *Egyptian Journal of Aquatic Research* 40, 261–268.
- [21] <http://naturalhistory.museumwales.ac.uk/britishbivalves/BrowseRecord.php?recid=97>
- [22] Beesley, P.L., Ross, G.J.B. eds (2000). *Polychaeta & Allies The Southern Synthesis*. Fauna of Australia, Vol. 4A Polychaeta, myzostomida, Pogonophora, Echiura, Sipuncula. Csiro Publishing: Melbourne xii 465 pp.
- [23] Pearson, TH., and Rosenberg, R (1978). Macrobenthic succession in relation to organic enrichment and pollution of the marine environment. *Oceanogr. Mar. Biol. Ann. Rev.* Vol. 16: 229-311.
-

- [24] Klein, M., Zviely, D., 2001. The environmental impact of marina development on adjacent beaches: a case study of the Herzliya marina Israel. *Applied Geography* 21, 145-156
- [52] קרס, נ., גליל, ב., שהם-פרידר, א. (2010). דו"ח 2010/27H – ניטור ימי באזור הזרמת רכז התפלה ממתקן ההתפלה בפלמחים ממצאי הניטורים שבוצעו במאי ובספטמבר 2009 – טיוטה להערות
- [26] רוטשילד, א., שולץ, ד., זס, ר., הר לב, אמיתי, יאיון, נ., אלחסיד, א., זילברשטיין, ר., רוזנצוויג, ג., גפני, ע. וגורן, מ. (2014). מפסיקים לכרות את הענף שאנו יושבים עליו – הרפורמה הנחוצה בניהול הדיג בים התיכון. אקולוגיה וסביבה 105-98 (5): 1.
- [27] Steele J. et al., (2002). Effects of Trawling and Dredging on Seafloor Habitat Committee on Ecosystem Effects of Fishing. NATIONAL ACADEMY PRESS Washington, D.C. 126 pp.
- [28] Levy, Y. Frid, O., Weinberger, A., Sade, R., Adam, Y., Kandanyan, U., Berkun, V., Perry, N., Edelist, D., Goren, M., Rothman, S.B.S. Stern, N., Tchernov, D. and Rilov, G. (2015). A small fishery with a high impact on sea turtle populations in the eastern Mediterranean. *Zoology in the Middle East*. Vol. 61, No. 4, 300–317
- [29] www.frs-scotland.gov.uk
- [30] האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה. 2015. כריית חול ימי בישראל, תמונת מצב, השלכות סביבתיות והמלצות. סיכום והמלצות ועדת מומחים. עריכה: ד"ר ערן ברוקוביץ' וד"ר מיכל סימוביץ'.
- [31] Galil, B. 2007. Loss or gain? Invasive aliens and biodiversity in the Mediterranean Sea. *Marine Pollution Bulletin*. Vol 55: 314-322.
- [32] גולני, ד. 2013. דגי הים התיכון. עמ' 148–157 ב-נ. סטמבלר, ת. לוטן, ב. גודמן, ו-א. ברמן-פרנק, עורכים. הוד הים יציבות ושינוי במערכות הימיות של ישראל. העמותה הישראלית למדעי הימים, ישראל.
- [33] Coll, M., C. Piroddi, J. Steenbeek, K. Kaschner, F. Ben Rais Lasram, J. Aguzzi, E. Ballesteros, C. N. Bianchi, J. Corbera, T. Dailianis, R. Danovaro, M. Estrada, C. Frogia, B. S. Galil, J. M. Gasol, R. Gertwagen, J. Gil, F. Guilhaumon, K. Kesner-Reyes, M.-S. Kitsos, A. Koukouras, N. Lampadariou, E. Laxamana, C. M. López-Fé de la Cuadra, H. K. Lotze, D. Martín, D. Mouillot, D. Oro, S. Raicevich, J. Rius-Barile,

-
- J. I. Saiz-Salinas, C. San Vicente, S. Somot, J. Templado, X. Turon, D. Vafidis, R. Villanueva, and E. Voultsiadou. 2010. The Biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, Patterns, and Threats. *PLoS ONE* 5:e11842.
- [34] Morri, C., S. Puce, C. N. Bianchi, G. Bitar, H. Zibrowius, and G. Bavestrello. 2008. Hydroids (Cnidaria: Hydrozoa) from the Levant Sea (mainly Lebanon), with emphasis on alien species. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89:49.
- [35] UNEP-MAP-RAC/SPA, 2010. Impact of climate change on marine and coastal biodiversity in the Mediterranean Sea: Current state of knowledge. By S. Ben Haj and A. Limam, RAC/SPA Edit., Tunis : 1-28.
- [36] Bellan-Santini D., and Bellan, G. 2000. Distribution and peculiarities of Mediterranean marine biocoenosis. *Biologia Marina Mediterranea* 7: 67-80
- [37] Boero, F. 2014. Global change, bioinvasions, and extinctions. in N. Shenkar, editor. *Marine Bioinvasion in the Mediterranean: toward large-scale studies*. The Steinhardt Museum of Natural History and National Research Center, Tel Aviv University, Herzlia.
- [38] Fine, M. and Tchernov, D. (2007). Scleractinian Coral Species Survive and Recover from Decalcification. *Science*. Vol. 315. Issue 5820. pp. 1811. DOI: 10.1126/science.1137094
- [39] ברנע, א., צדוק, ר. 2013. סיכום סקר ביולוגי שנערך עבור תמ"א 37 ח' למתקני טיפול לגז טבעי מתגליות. תסקיר השפעה על הסביבה תמ"א 37 ח' למתקני טיפול לגז טבעי מתגליות. פרקים ג'-ה' סביבה ימית. אתום אדריכלות וסביבה בע"מ.
- [40] יהל, ר., ו-נ. אנגרט. 2012א'. מדיניות שמירת הטבע בים התיכון: שמורות טבע ימיות ככלי לשימור הסביבה והמגוון בים התיכון. ירושלים.
- [41] חרות, ב. וחובריו. 2005-2015. איכות מימי החופים של ישראל. דוחות חיאל H34/2005, H25/2006, H49/2007, H52/2008, H77/2009, H64/2010, H68/2011, H78/2012 H62/2013.
-

