

המערכות האקולוגיות הימיות – הפרק המלא

מחברים מובילים: גיל רילוב, דור אדליסט, דפנה דיסני

עוזר מחקר: דור אדליסט

מחברים תורמים: הדס לובינסקי, מישל פורטמן

תוכן עניינים

3	מבוא כללי	1
5	מערכת הים התיכון	2
5	מבוא	2.1
5	מיקום, גבולות וממדים	2.1.1
5	המאפיינים הפיזיים	2.1.2
5	המגוון הביולוגי	2.1.3
6	אזורי מערכת-העל- מאפיינים פיזיים והמגוון הביולוגי שלהם	2.2
6	האזור החופי, אזור הכרית	2.2.1
7	אזור קרקעית מדף היבשת	2.2.2
9	גוף המים של מדף היבשת	2.2.3
10	אזור הים העמוק	2.2.4
11	מגוון ביולוגי נייד ברחבי המערכת כולה	2.2.5
12	גורמים מחוללי שינוי במערכת-העל של הים התיכון	2.3
12	פלישת מינים זרים	2.3.1
16	הביטויים המקומיים של שינויי האקלים הגלובליים	2.3.2
19	דיג	2.3.3
20	זיהום	2.3.4
23	זיהום רעש תת-ימי	2.3.5
23	פיתוח פיזי	2.3.6
26	פעילויות לניצול משאבי הגז והנפט שמתחת למערכת הימית	2.3.7
27	מצב ומגמות באספקת שירותי מערכת הים התיכון	2.4
27	שירותי תמיכה	2.4.1
28	שירותי ויסות	2.4.2
34	שירותי אספקה	2.4.3
39	שירותי תרבות	2.4.4
46	יחסי גומלין בתוך ובין המערכות	2.5
46	השפעת מערכות-על אחרות על המגוון הביולוגי ואספקת השירותים של מערכת ים-תיכון	2.5.1
46	יחסי גומלין בין אזורי המערכת - גורמים מחוללי שינוי, סינרגיה והמרות	2.5.2
47	תגובות לשינויים באספקת השירותים במערכת העל	2.6
47	תגובות לשינויים בשירות אספקת דגה	2.6.1
48	תגובות לגורמים מחוללי השינוי במכלול המגוון הביולוגי	2.6.2
50	פערי ידע שזוהו במהלך הערכה וגישורם דרוש להשלמתה	2.7
50	שירותי אספקה	2.7.1
50	שירותי ויסות	2.7.2
50	שירותי תרבות	2.7.3
50	מכלול השירותים	2.7.4
51	מערכת מפרץ אילת	3
51	מבוא	3.1
51	מיקום, גבולות וממדים	3.1.1
51	המאפיינים הפיזיים	3.1.2

51.....	המגוון הביולוגי	3.1.3
51.....	אזורי מערכת-העל, מאפיינים פיזיים והמגוון הביולוגי שלהם	3.1.4
55.....	מגמות וגורמים מחוללי שינוי במערכת-העל של מפרץ אילת	3.2
55.....	גורמים מחוללי שינוי ישירים שאינם נגרמים על ידי האדם המקומי	3.2.1
57.....	גורמי שינוי עקיפים, מידי אדם	3.2.2
59.....	מצב ומגמות באספקת שירותים	3.3
59.....	שירותי ויסות	3.3.1
63.....	שירותי אספקה	3.3.2
65.....	שירותי תרבות	3.3.3
71.....	יחסי גומלין בתוך ובין מערכות	3.4
71.....	השפעת מערכות-על אחרות על המגוון הביולוגי של מערכת מפרץ אילת	3.4.1
72.....	יחסי גומלין בין האזורים השונים שבתוך מערכת מפרץ אילת	3.4.2
72.....	סינרגיה והמרות בין שירותים	3.4.3
72.....	תגובות לשינויים במצב המערכת	3.5
73.....	פערי ידע	3.6
73.....	שירותי אספקה	3.6.1
73.....	שירותי וויסות	3.6.2
73.....	שירותי תרבות	3.6.3
73.....	שירותים פוטנציאליים	3.6.4
74.....	מקורות	4

גילוי נאות: מסמך זה הוכן במסגרת פרויקט מערכות אקולוגיות ורווחת האדם – הערכה לאומית, בתמיכה והנחייה של צוות ניהול הפרויקט. עם זאת, האחריות לתוכן המסמך היא של המחברים המובילים בלבד. הנתונים וניתוחם בפרק זה עדכניים נכון לשנת 2018.

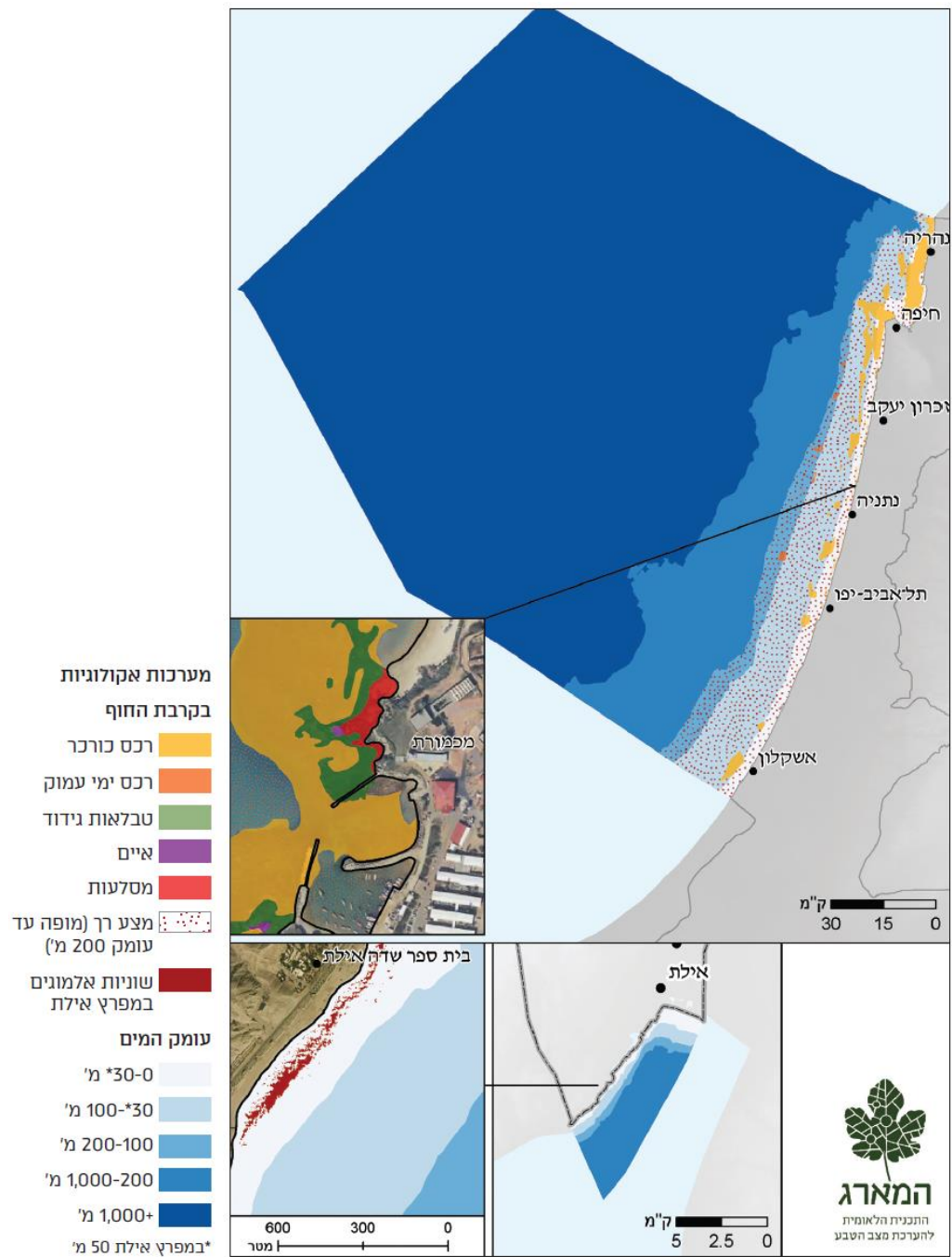
ציטוט מומלץ: רילוב, ג', אדליסט, ד' ודיסני, ד' (עורכים). (2017). המערכות האקולוגיות הימיות – הפרק המלא.

1. מבוא כללי

ההבדל הבסיסי שבין מערכות אקולוגיות ימיות ומערכות אקולוגיות יבשתיות הוא בתשתית הפיזית שלהן: קרקע במערכות היבשתיות, המשמשת כמצע ותמיכה פיזית לכל יצורי המגוון הביולוגי היבשתי החיים בתוכה ועל פניה, וגוף מים המספק תמיכה פיזית גם ליצורים השוחים והמרחפים וגם לאלה של קרקעית הים של המערכות הימיות. מכאן שהמבנה הפיזי של המערכות הימיות, בשונה מזה של היבשתיות, הוא תלת ממדי (קרקעית וגוף מים מעליה), וזאת בדומה למערכות המים הפנים ארציים, באגמים ובנחלים, אלא שהרכב הכימי של מי מערכות אלה שונה מזה של "מי הים". ובעוד שקל למקם את הגבולות הטבעיים של אגם ושל נחל, גבולות המערכות הימיות של ישראל הם גבולות מדיניים בלבד. אך גבולות אלה חזירים לתנועות המים שמרחבי הים התיכון ומאלה של מפרץ אילת. המים ממרחבים אלה נושאים עמם חומרי דשן (נוטריינטים), חומרי הזנה (לצמחים), חמצן, אנרגיה, ובעיקר רבים מהיצורים הימיים, ובכך משפיעים על המערכות הימיות שבתחום הימי של ישראל.

ישראל שוכנת לחופי האגן המזרחי של הים התיכון ולחופי צפון מפרץ אילת, כך שלה שתי מערכות-על אקולוגיות ימיות, מערכת-העל של הים-התיכון ומערכת-העל של מפרץ אילת, המשתרעות כל אחת מהחוף ואל תוך השטחים הימיים שבתחומי ישראל. קיים דמיון בין שתי מערכות-העל הימיות של ישראל, מערכת הים-התיכון ומערכת מפרץ אילת שבתחומי ישראל, והוא במיקום כל אחת מהן בשולי השוליים של שני אוקיינוסים נפרדים. הים התיכון מהווה שלוחה של האוקיינוס האטלנטי והמערכת הישראלית ממוקמת בקצה המזרחי של האגן המזרחי של ים זה, ומפרץ אילת הוא שלוחה של ים סוף, שהוא שלוחה של האוקיינוס ההודי. מיקום שוליים זה שהוא גם באזור של אקלים יובשני ותוצאתו אספקה דלה של מי נחלים ונגר שהיא נמוכה מקצב האידי, מביא להגברת החום והמליחות מצד אחד, ומאידך לעוני בחומרי דשן (חומרי הזנה לצמחים, נוטריינטים) של מי המערכות הימיות של ישראל. אך דמיון משמעותי זה שבין מערכות שולי האוקיינוסים מתגמד אל מול ההבדלים בין שני האוקיינוסים בהרכב ובאופי המגוון הביולוגי שלהם, מה שמשליך על הבדלים במגוון הביולוגי בתהליכים האקולוגיים שבין המערכות הישראליות של הים-התיכון מול אלה של מפרץ אילת. שלא כשאר המערכות האקולוגיות הטבעיות של ישראל, שתי המערכות הימיות של ישראל מבודדות זו מזו גיאוגרפית. אמנם, החל מסוף 1869 נוצר חיבור ימי בין מי הים התיכון ומי מפרץ סואץ באמצעות תעלת סואץ. אך מפרץ סואץ מקושר למפרץ אילת באמצעות ים סוף, כך שהחיבור הפיזי בין מערכת מפרץ אילת למערכת הים-התיכון אינו ישיר.

בדומה לכל המערכות הימיות בכדור הארץ גם למערכות הישראליות קרקעית המשתפלת והולכת מהחוף והלאה עד למרחקים ועומקים שונים, ולכן גם לארבעה אזורים תוך-מערכתיים שונים: אזור החוף המושפע מתנודות הכרית (גאות ושפל, היינו שינויים תדירים, בעיקר מחזוריים, בגובה פני הים) וממפץ הגלים; מדרון "מדף היבשת" וקרקעיתו; גוף המים שמעל מדף היבשת; והים העמוק שמעבר למדף היבשת. לכל אחד מאזורים אלה מגוון ביולוגי משלו, והוא עשוי לתפקד כמערכת אקולוגית בפני עצמה. אך משום התלות ההדדית ויחסי הגומלין שבין ארבעת האזורים הללו שמקורה בתנועות המים נוח להתייחס למערכת מורכבת זו בכל אחת משתי מערכות-העל של ישראל, כמערכת אקולוגית אחת.



איור 1: מפת המערכות האקולוגיות הימיות של ישראל, בתוך גבולות האזור הכלכלי הבלעדי. (המיפוי מבוסס על שכבות מ"ג ומידע מרשות הטבע והגנים; צדוק וברנע, 2013; Almagor & Hall, 1984; ועבודת מיפוי שנעשתה במארג עבור פרויקט זה).

2. מערכת הים התיכון

2.1. מבוא

2.1.1. מיקום, גבולות וממדים

הגבול המזרחי של מערכת הים-התיכון עובר לאורך 196 הק"מ של החופים, מראש הנקרה בצפון ועד גבולה הצפוני של רצועת עזה בדרום, 300 מטרים ממזרח לקו החוף שהוא קו גובה 0.75 מ' מעל פני הים. הגבול המערבי, זה של "המים הכלכליים הבלעדיים" של ישראל במרחק כ-241 ק"מ מערבית מקו החוף, (מעבר למים הטריטוריאליים שגבולם במרחק כ-22 ק"מ מהחוף), ושיטחה של המערכת האקולוגית הישראלית של הים התיכון הוא 26,082 קמ"ר (איור 1).

2.1.2. המאפיינים הפיזיים

עם הגיעם של מי האוקיינוס האטלנטי הזורמים ממצרי גיברלטר מזרחה למערכת הישראלית, הם מתחממים (מעל ל- 300°C בקיץ), נמלחים (מעל 39 חלקים לאלף) וריכוז חומרי הדשן בהם פוחת. בקווי רוחב דומים במזרח האוקיינוס האטלנטי לדוגמא, הטמפרטורה בקיץ הינה כ-25 מעלות והמליחות הינה כ-35 חלקים לאלף. כמות הפחמן האורגני הנכנסת למי המערכת הישראלית קטנה פי 80-15 מזו הנכנסת לאגן המערבי של הים התיכון (Danovaro et al., 2010), וזאת בין השאר בגין הקמת סכר אסואן המביא לצמצום כמויות מי הנילוס הזורמים לים, על הסחופת וחומרי הדשן שבהם.

2.1.3. המגוון הביולוגי

מקור המגוון הביולוגי של הים התיכון הוא במי מזרח האוקיינוס האטלנטי הקרים והעשירים בחומרי דשן (חומרי הזנה, נוטריינטים) ועל כן מיני המגוון הביולוגי של הים התיכון, ובעיקר אלה של המערכת הישראלית הממוקמת בשוליו המזרחיים של האגן המזרחי-ים-תיכוני, נמצאים בקצה הדרום-מזרחי של תפוצתם הגלובלית. מקובל לחשוב שהתנאים הסביבתיים באזורי הגבול של תפוצת מינים, שונים ומאתגרים מאלה שבמרכזי תפוצתם (Volis et al., 2016). ואמנם, בגין הטמפרטורות הגבוהות והרכוז הנמוך של חומרי הדשן במערכת הישראלית יחסית לאלה של האוקיינוס האטלנטי, מיני המים הקרים מעטים, עושר מינים הכולל נמוך, ולמיני בע"ח רבים ממדי הגוף קטנים, אף יחסית לאלה של אגן מערב הים התיכון (et al., Coll2010). לפיכך אין במערכת הישראלית ייצוג מלא של כלל מיני הים התיכון, וגם לא הרבה מינים מקומיים בלעדיים (אנדמיים) (Danovaro et al., 2010). בנוסף, החל ממועד פתיחת תעלת סואץ (שנות ה-80 של המאה ה-19), החלה חדירת מינים מהמגוון הביולוגי של האוקיינוס ההודי-פסיפי לים התיכון, ועיקרה דווקא לחלקו המזרחי, כולל המערכת הישראלית. גם רכיב מגוון ביולוגי זה הוא של אזור שולי של האוקיינוס ההודי - קצהו הצפוני של מפרץ סואץ, שמקורו בקצה הים האדום. אך מאסף זה של מיני הים האדום, מינים טרופיים, שחדרו באמצעות תעלת סואץ מהוים היום רכיב משמעותי של המגוון הביולוגי של מערכת הים התיכון.

העוני היחסי בחומרי דשן של המערכת התגבר עם הקמת סכרי אסואן שהפחיתו במידה משמעותית את כמות המים המתוקים הנושאים חומרי דשן המגיעה לים התיכון. פחיתה זו מביאה להאטה של התהליכים האקולוגיים התומכים של המערכת. ממדי הייצור הראשוני של ביומסה על ידי האצות הזעירות המרחפות בגוף המים (פיטופלנקטון) ואצות הקרקעית (של האזור החופי ועד לעומקי הדירת האור) נמוכים יחסית ולכן מפרנסים ביומסה קטנה יחסית של בעלי חיים הרביבורים (בעיקר אוכלי פיטופלנקטון) ושל טורפיהם (כדגים וחסרי חוליות מסננים, ועוד). להאטה הייצור הראשוני תורמת גם האטה בתהליך התומך

של מיהזור החומרים. מרבית חומרי הדשן המומסים בגוף המים נצרכת במהירות על ידי היצרנים הראשונים וכל הניזונים עליהם במישרין ובעקיפין. עם מותם, גופותיהם שוקעות לקרקעית, שעליה ובתוכה מתפקד המגוון הביולוגי של המינים המפרקים, החל בצדפות וסרטנים ועד לחיידקים מפרקים. כל אלה יחד ממחזרים את הביומסה האורגנית המתה לחומרי דשן מינרליים המומסים שוב במי הים והערבול מסייע לצריכה חוזרת על ידי היצרנים הראשונים שבגוף המים.

בים התיכון יש אומדנים חסרים מאד למספר מיני היצורים הזעירים, מיני חסרי החוליות (בעיקר תולעים, פרוקי רגליים, ועוד) ומיני האצות, אך ידועים מספריהם של מיני בעלי חוליות גדולים יחסית (נכון עד לשנת 2017): 394 מיני דגי גרם ו-56 מיני דגי סחוס (דניאל גולני, מידע אישי; Golani, 2005), 3 מיני צבי ים, ו-17 מיני יונקים ימיים.

2.2. אזורי מערכת-העל- מאפיינים פיזיים והמגוון הביולוגי שלהם

2.2.1. האזור החופי, אזור הכרית

2.2.1.1. המאפיינים הפיזיים

2.2.1.1.1. רכיבי המגוון הביולוגי המעורבים בהפקת השרות

במשרעת הכרית המחזורית (בהשפעת הירח והשמש) מתנוודת בין כ- 10-30 ס"מ, אך בהשפעת סערות ואירועי קיצון של לחץ אטמוספרי עשויה להגיע עד 70 ס"מ (גלבוע וגולדשמיט, 1986). לכן גם שטחו של אזור הכרית קטן יחסית ותלוי בממדי השיפוע של הקרקעית. אזור זה נתון אפוא למחזורים של חשיפה לאוויר והצפה במי הים, לחילופין. לרוב האזור החופי של מערכת הים התיכון תשתית של קרקע חולית, אך זו מוחלפת בתשתיות סלעיות המוטבעות בחולות ככל שמצפינים. מקור רוב התשתיות הסלעיות ברכסי כורכר שבשוליים המערביים של השרון, הכרמל והגליל המערבי ומיעוטן בראש הכרמל ובראש הנקרה. תשתיות סלעיות אלה כוללות: (א) "סלעי חוף" (beachrock), לוחות תלכידי חלוקי סלע מונחים על החוף בשיפוע לכוון הים, ושטחם הכולל 0.77 קמ"ר (איור 1); (ב) גושי סלע כורכר (boulders); ו(ג) טבלאות גידוד (שוניות של סלעי כורכר או גיר שעברו תהליכי שחיקה (גידוד) בהם מעורבים רכיבי המגוון הביולוגי של אזור זה). אורך החוף המצטבר של "טבלאות גידוד" הוא כ-33 ק"מ, ושטח הפנים הכולל שלהן הוא 0.88 קמ"ר. הן פרושות בעיקר (אך לא רק) בצפון הארץ, וגם סלעי חוף מצויים בעיקר בצפון ובמרכז הארץ ומהווים רכיב משמעותי בקו החוף הישראלי (איור 1).

האזור החופי עשיר יחסית גם בתשתיות קשיחות שאינן טבעיות - מבנים אשר החליפו כ-35 ק"מ של חוף שרובו חולי, בחוף שמצפו קשיח. מרבית מבנים אלה טבועים במי הים עד לעומק של מספר מטרים, היינו מתחת לאזור הכרית החופי. (שוברי גלים בנמלים, במרינות ובחופי רחצה, באורך כולל של כ-50 ק"מ וכ-20 ק"מ של קירות ים, בעיקר ברציפי נמלים ומעגנות, וכ-10 ק"מ של מזחים). אזורי התשתית החולית שלאורך החופים ובעיקר בדרום הארץ, חשופים לאנרגיות גבוהות של זרמים וגלים הסוחפים או עורמים את החול, ובכך מביאים לשינויים בממדיו של האזור החופי שתשתיתו חולית.

2.2.1.2 המגוון הביולוגי

2.2.1.2.1 החוף הסלעי

הסלעים המצויים באזור הכרית (גאות ושפל) שבקו החוף מאוכלסים במינים ימיים רבים. חלקם צמודי סלע כאצות וחסרי חוליות ישיבים כבלוטי ים, ועוד; אחרים הם ניידים, לדוגמה חלזונות, סרטנים, תולעים ועוד (Lipkin & Safriel, 1971); בבריכות השפל ובזמני הגאות פעילים בבית גידול זה דגים שונים. באתרים רבים קיימים על משטחי הסלע כתמים או מרבדים גדולים של הצדפה השחורה הפולשת מים סוף, בוצית פרעה (*Brachiodontes pharaonis*). על קירות ברכות וצנירים מכוסים בבעלי חיים כספוגים, חי-טחביים (Bryozoa), שושנות ים ועוד. על פני המסלע ואף בתוך שכבתו העליונה אצות חד-תאיות עליהן ניזונים חלזונות וחסרי חוליות אחרים.

אזור הכרית כולל גם את טבלאות הגידוד (או שוניות הצינוריים). תצורות מורפולוגיות אלה הם תוצר של תהליך הגידוד (בלייה באמצעות תהליכים כימיים וביולוגיים) של פסגות רכסי הכורכר החופי וגם של שולי חוף הרי הכרמל וראש הנקרה. תהליך זה כרסם בהן במהלך הזמן אך הכרסום נעצר באמצעות שני חלזונות ממשפחת הצינוריים הבולמים את התהליך בהגיעו למפלס פני הים. כך נוצרת טבלה שטוחה מוקפת בכרכוב מוגבה הסופג את עוצמת הגלים ומאפשר לה לתפקד כמערכת של בריכות מים רדודים בעת השפל. המינים המעורבים ביצירה ובתחזוקה של טבלאות הגידוד מתפקדים כ"מהנדסי סביבה" ביוצרים בית גידול חדש עבור מינים רבים אחרים של האזור החופי (Jones et al., 1994).

2.2.1.2.2 החוף החולי

האזור החופי שתשתיתו חולית משתרע מחלקה התחתון של חגורת הכרית ועד מעבר לגבול העליון של חגורת הכרית, היינו עד לתחתית מצוק הכורכר החופי ובמקומות שאיננו, עד לדיונות הנושאות צומח יבשתי. רצועת החול ברוחב של עד עשרות מטרים שנמצאת מעבר לחגורת הכרית מושפעת בעיקר מרסס הגלים ונשטפת רק באירועי סערות. רצועה זו מאוכלסת על ידי מינים מעטים, אך בעבר נמצאו בה פרטים רבים של סרטן החולות (*Oecypode cursor*) שכיום אוכלוסיותיו מועטות לאורך החוף. לרצועה זו חשיבות אקולוגית רבה כיוון שהיא בית הגידול בו צבי הים חופרים קינים ומטילים את ביציהם בעונת ההטלה והבקיעה שבאביב והקיץ, ועל פניה רצים הצבונים הבוקעים בדרך אל הים. זאת גם רצועת החוף המשמשת לפעילות הנופשים בעיקר בעונת הקיץ. בקו הגאות עצמו נערמים לעיתים פלט אצות שנתקו מאזורים עמוקים, קונכיות, צדפים, פלנקטון ג'לטיני ומדוזות. חלקה העליון של חגורת הכרית הנשטפת בעיקר בגלי סערות ענייה גם היא במינים החיים בחול (שיינין וחוב', 2013) ומצויים בה בעיקר תולעים, צדפות מתחפרות (Donax) ומיני חלזונות שניזונים עליהן (*Natica*). עם העמקה והפחתה באנרגיה הגלים נוספים בקרקעית סרטנים קטנים (שיינין וחוב', 2013). במים הרדודים ביותר שבחגורת הכרית שכמות החול המורחף בהם משתנים תדירות עקב תנועת המים העזות שבאזור הכרית זה נמצאים מיני דגים, קטנים בלהקות (סיכנים, סילגו, שפמית, אידרית וסרדינית), גדולים (בורי, מרמיר וסרגוס) וגדולים מאד [גיטרנים (*Rhinobatos spp*) ובטאים]. גם מספר מיני עופות כחופיות, ביצניות ועוד, ניזונים באזור זה בעתות השפל בעיקר בעונות נדידת הציפורים.

2.2.2 אזור קרקעית מדף היבשת

2.2.2.1 המאפיינים הפיזיים

מדף היבשת הוא שטח קרקעית ים בעל שיפוע מתון (כחצי מעלה) המשתרע מעבר לאזור החוף ופנימה לים ושטחו הכולל 2,360 קמ"ר. עד לעומק 30 מ' משתרע שטח של 582 קמ"ר שרובו מצע רך של חול שמקורו מהנילוס ומגיע עד מפרץ חיפה,

שצפונה ממנו החול נעשה גירני. עד לעומק של 100 מ' (עומק מקורב של חדירת האור) נוסף שטח של 2,302 קמ"ר שרובו מצע טין וחרסית, ורק בכ-13% משטח המדף עד לעומק זה הקרקעית היא של רכסי כורכר טבועים במים הנמתחים במקביל לחוף, בעיקר בצפון הארץ. הפסגות של רכסים אלה מבצבצות לעיתים מפני המים באזור המדף הרדוד (עד עומק של כ-20 מ') - 13 איים זעירים בשטח כולל של 0.06 קמ"ר. שתי רצועות נוספות של רכסי כורכר נמצאות בעומקים של 30-40 מ' ו-90-120 מ' מחיפה ודרומה (איור 1), וכן רכס באורך כ-12 ק"מ וברוחב 2-4 ק"מ מול חופי הרצליה (צדוק וברנע, 2013). רכסים אלה מהווים שוניות תת-ימיות שבהן חריצים עמוקים, כוכים ובלטות גבוהות, ובהם גם "בריכות" שקרקעיתן חול של שברי שלדי יצורים ימיים, ותוצרי בלייה של רכס הכורכר (צדוק וברנע, 2013). קרקעיות קשיחות נוספות באזור מדף היבשת הן אלה של נמלים ומרינות שלאורך החוף באזור הרדוד של מדף היבשת, ובחלקיו העמוקים – של תשתיות קידוחי נפט וגז.

2.2.2.2 המגוון הביולוגי

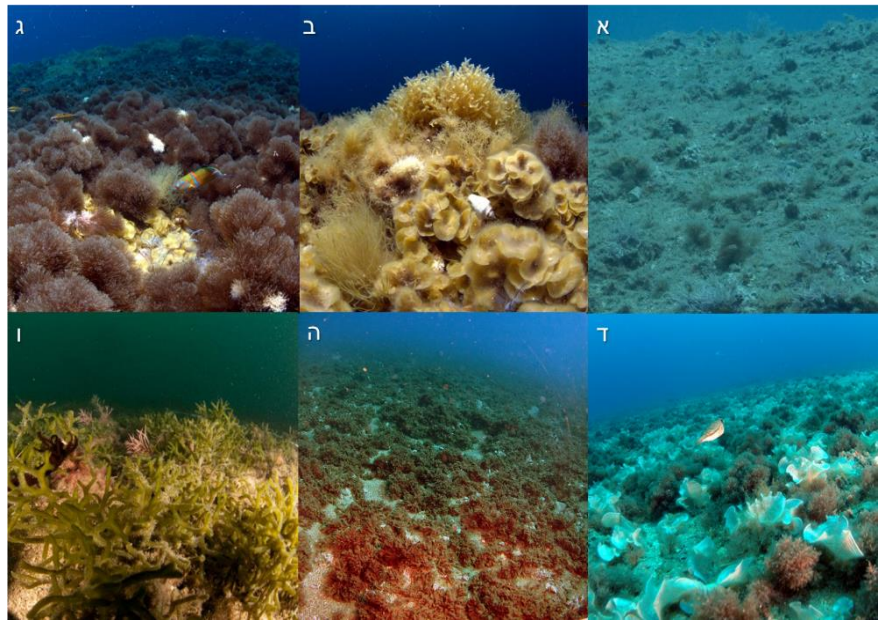
2.2.2.2.1 הקרקעית הסלעית

בשוניות הסלעיות של מדף היבשת מגוון ביולוגי עשיר יחסית לשאר אזורי מערכת הים התיכון הכולל גם הרבה מאד מינים פולשים. חלקו של המגוון הביולוגי של אזור זה מייצר תכסית "ביוגנית" של מינים "גירניים" (מיני אלמוגים, בעיקר אלמוג הדשא *Cladocora caespitosa*, חי-טחביים, אצות גירניות חד-תאיות, ואחרות כמו גנית מאדימה *Jania rubens* ושברירה אשונה *Amphiroa rigida* (שיינין וחוב', 2013). רוב שטחי השוניות נשלט כיום על ידי רובד נמוך של מיני אצות חוטיות קטנות (איור 2), ובעונות הצמיחה גם אצות שיחניות גדולות בכתמים בני עשרות מטרים רבועים (Rilov et al., 2018) מהוות מצע לעשרות מיני בעלי חיים זעירים. למשל, 39 מיני אצות ובע"ח נמצאו על פיסת סלע מעומק 15 מ' שמשקלה ק"ג אחד, וכ-60 מיני חלזונות, תולעים, איצטלנים, סרטנים ועוד על האצות השיחיות אלמוגנית וציסטנית (Rilov et al., 2018). באזור הקרקעית הסלעית מצויים גם עשרות מיני דגים (Goren & Galil, 2001), ופוקדים אותו גם מיני דגים מאזור המים העליונים ואף גם מיני צבי הים.

במדף העמוק (92-125 מ'), בעיקר בקירו המערבי והתלול של רכס הכורכר התת-ימי צימדה המורכבת ממינים רבים של ספוגים, איצטלנים וחסרי חוליות אחרים. במים שבסמוך דגים צעירים ממספר מינים (צדוק וברנע, 2013) ובשוניות הסלעיות מינים בעלי ערך מסחרי, כמו ספרוסים (Sparidae - סרגוסים ופארידות) ודגים טורפים גדולים יותר (לוקוסים - Serranidae) וצנייתיים (אינטיאסים וטרכונים - Carangidae). בנוסף, גם מיני מים עליונים הקשורים לקרקעית, צבי-ים ובטאיים פוקדים את השוניות שעל מדף היבשת (Edelist & Spanier, 2009).

2.2.2.2.2 הקרקעית הרכה

רוב מיני הקרקעית הרכה נמצאים במספר הסנטימטרים העליונים שלה, אם בתוכה או מעליה, וכוללים – תולעים (בעיקר נימיות), סרטנים, קיפודי ים, צדפות, דגים חופרים ומתחפרים ועוד. המגוון הולך ומתחלף עם העומק, ובעומקי מים של 50 מ' הוא נשלט יותר על ידי תולעים רב-זיפיות, סרטנים וצדפות (חרות, 2014), ובעומקים של מאות מטרים שולטים הסילונים וורודים (*Parapenaeus longirostris*) ואדומים (*Arsteomorpha foliacea*, *Aristeus antennatus*) וכן אוכלוסיות גדולות של דגי סחוס וראש-רגליים (כתמנונים) (Edelist, 2013).



איור 2: דוגמאות שונות לסוגי תכסית שונים של מאקרו-אצות. המופע הנפוץ ביותר הוא תרף (Turf), אצות בעלות יצע נמוך וחוטני ולעיתים גירני (א), אך ישנם מרבדים של אצות גדולות ורכות יחסית מקומיות (ב-ד) ופולשות (ה-ו).

2.2.3. גוף המים של מדף היבשת

2.2.3.1. המאפיינים הפיזיים

ממדי עמודת המים שמעל קרקעית מדף היבשת תלויים בשיפוע המדף ומרחקו מהחוף, אך בשכבה העליונה שלה, שעובייה נע בין 10-50 מ' בקיץ ובין 20-350 בחורף (Gertman & Goldman, 2013) נאצרת אנרגיה לה חשיבות במאזן האנרגיה של כלל אזורי המערכת, ובה גם חומרי דשן (נוטריינטים) שזרמי עמודת המים מפיצים אותם למערכת כולה. כמות חומרי הדשן בגוף המים של מדף היבשת גבוהה מזו של מי אזור הים העמוק משום שבחלקו הקרוב לחוף גוף מים זה קולט את חומרי הדשן ממקורות נקודתיים (נחלים, נגר, מוצאי שפכים), ואילו חלקי גוף המים העמוקים והרחוקים יותר מהחוף קולטים חומרי דשן ממקורות אטמוספריים, כסופות אבק (הנושא מינרלים) וגשמים הקולטים אבק אטמוספרי ומשקיעים אותו בגוף המים (חרות וחוב', 2014). ערבול המים בחורף, כאשר סערות חורף מעטות אך עוצמתיות, של גלים בגובה של מעל ל-3 מ' ובמקרי קיצון אף מעל ל-10 מ' (Zviely et al., 2007), מסיעות את מי העומק העשירים במיוחד בחומרי הדשן (בר זאב וחוב', 2013), מה שמאפשר יוצרנות ראשונית גם בחורף (Zohary et al., 1998).

2.2.3.2. המגוון הביולוגי

גוף מים זה מכיל את עיקר הביומסה של מערכת הים-התיכון הכוללת את מאסף היצורים המרחפים במים (פלנקטון): פגיות (שליבים צעירים - larva) של מיני קרקעית המדף, וכל מיני האצות הזעירות והחיידקים המעורבים בתהליכים האקולוגיים התומכים של מיחזור חומרים, קיבוע חנקן (Berman-Frank et al., 2001; Rahav et al., 2013) ויצרנות ראשונית. יצורים אלה מהווים מזון לדגי גוף המים, כגון מקרלים (*Coccolias amber*) וסרדינים (*Sardinella aurita*). אלה מתלהקים על המדף בעיקר באביב ובקיץ בכדי לקצור את פריחת הפלנקטון ומהווים ביומסה משמעותית במדגה. גוף המים העליונים מאכלס גם דגים גדולים הטורפים דגים קטנים כ-אינטיאס (*Seriola dumerili*), טונית (*Euthynnus alletteratus*) וסקומברן זרז (*Scomberomorus comerson*) שמשחרים לטרף בלהקות גדולות.

בגוף המים שמעל מדף היבשת נמצאים גם מיני מדוזות, שרובן פולשות, והידועה שבהן היא החוטית הנודדת (*Rhopilema nomadica*) שנחילה מופיעים בתחילת הקיץ, ולעיתים נדירות יותר גם בסוף-קיץ ובחורף (Lotan et al., 1994). גוף המים העליונים משמש גם מיני מים הנושמים אוויר, כצבי הים ודולפינים, וגם מינים המתפרנסים מיצורי גוף המים העליונים שמעל מדף היבשת, אך אינם חיים במים – כ-10 מינים של עופות ים, ביניהם 3 מיני סולה (Sulidae) הניזונים מדגי המים העליונים בצלילה לתוכם, כמה עשרות מיני שחפים, שחפיות (Sternidae) והמסנים (Stercorariidae) (שיינין וחוב', 2013) הניזונים מדגים הסמוכים ממש לפני המים (אך ניזונים גם מיצורים ופגרים שבחופים) והלקם יסעורונים (Hydrobatidae) הניזונים בעיקר ממיני פלנקטון הקרובים לפני המים (Watanuki, 1995). ולבסוף, בגוף המים שמעל אזור הים העמוק חולפות, עשרות קילומטרים מחופי ישראל, להקות ענק של טונה כחולת סנפיר (*Thunnus thynnus*) בדרך לשדות הרבייה שלהן, שכנראה מחוץ למערכת הישראלית.

2.2.4. אזור הים העמוק

2.2.4.1. המאפיינים הפיזיים

אזור זה כולל את הקרקעית ואת גוף המים שמעליה, החל מעומק 100 מ' ועד לעומק המרבי של המערכת. "מדרון היבשת" ששטחו 3,809 קמ"ר מגיע עד לעומק 1000 מ'. מתחת לעומק 200 מ' קרקעיתו טין ללא מצע קשיח והוא מוביל למישור המגיע עד לעומק של כשני ק"מ ושטחו 19,913 קמ"ר המהווה 91% של שטח המים הכלכליים של ישראל (איור 1). טמפרטורת המים, מליחותם וריכוז החמצן באזור הים העמוק גבוהים יחסית לאזורי ימים עמוקים (Danovaro et al., 2010) וריכוז הנוטריינטים בו פוחת עם המרחק מהחוף. קרקעית המישור היא של טין וחרסית, ובה גם נביעות קרות עשירות בתרכובות פחמן וזרחן. קרקעית סלעית נדירה במישור ונמצאת רק על שיפועים תלולים, כמו אלה שבחלק העליון של המדרון.

2.2.4.2. המגוון הביולוגי

2.2.4.2.1. קרקעית המדרון

המערכת של הים העמוק היא אמנם הגדולה ביותר בנפחה ובשטחה, אך היא קטנה בעושר המינים שבה יחסית למים הרדודים. עם ההעמקה מעבר למדף היבשת (מ-100 מ' ועד למטה מ-500 מטרים) קטנים והולכים ממדי היצרנות הראשונית ועמם ממדי המגוון הביולוגי (Danovaro et al., 2010), כולל אלה של מיני הדגה, גם בהתייחס לאזורים אחרים של המערכת הישראלית, וגם בהתייחס לאוקיינוס האטלנטי ואף לאגן המערבי של הים התיכון (Danovaro et al., 2010), ולפיכך לא מתקיים דיג מכמורת באזור המדרון. אך על המצע החולי הרך של המדרון נמצאים מיני החסילונים הוורודים (*Parapenaeus longirostris*) והאדומים (*Aristeomorpha foliacea* ו-*Aristeus antennatus*), שהם בעלי ערך מסחרי. כמו כן נמצאים באזור זה דגים טורפים וכרישים שניזונים גם מפגרי בע"ח ימיים הצונחים אל הקרקעית. בעומק 650 מ' קיימות גם שוניות מעטות של אלמוגי עומק, ועליהם ובסביבתם הקרובה מגוון של חסרי חוליות (חי-טחביים, רכיכות, תולעים, קווצי עור, סרטנים, ראש רגליים וגם דגים (Coleman, 2011)).

2.2.4.2.2. קרקעית המישור

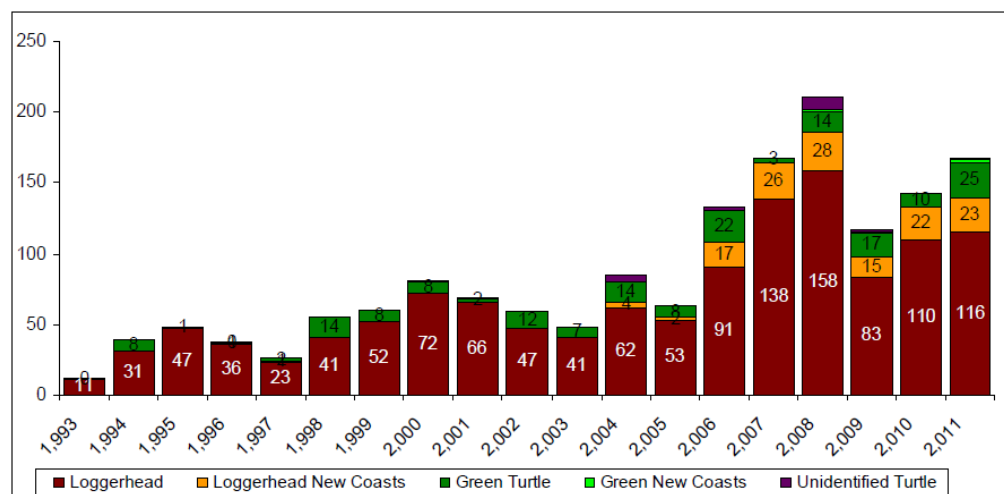
המגוון הביולוגי של קרקעית המישור העמוק שברובה רכה, נמוך מזה של המדרון, וכך גם מספר המינים הפולשים בו נמוך ביותר. בקרקעית גם אזורי מסלע נדירים, כמו אלה של רכס הכורכר העמוק ובהם ספוגים ושוניות של אלמוגי עומק. קרקעית קצה המדרון והמישור העמוק שמתחתיו נמצאות נביעות קרות (Danovaro et al., 2010) שבסביבתן מינים טיפוסיים להן כצדפות ותולעים טבעתיות (Rubin-Blum et al., 2014) וחיידקים כימו-סינתטיים (המבצעים ייצור ראשוני מונע על ידי

אנרגיה כימית ולא ע"י אנרגית האור). חיידקים אלה של 5 הס"מ העליונים של טין קרקעית הנביעות שבעומק כקילומטר, מפרקים את גז המתאן המשתחרר בנביעות אלה (Rubin-Blum et al., 2014). באזור המדרון התחתון והמישורים בעומקים של כ-700 ועד כ-1500 מ' נצפו (באמצעות גרירת רשת מכמורת) 39 מיני דגים כאשר 65% מפרטיהם היו מהמינים *Bathyporeis mediterraneus* ו-*Nezumia sclerorhynchus* (Galil, 2004).

2.2.5. מגוון ביולוגי נייד ברחבי המערכת כולה

מלבד המגוון הביולוגי של כל אחד מאזורי המערכת קיים גם רכיב מגוון ביולוגי נוסף שלא ניתן ליחס את מיניו למי מהאזורים הללו, שכן פרטיהם מתניידים על פני שטחים גדולים ברחבי המערכת ועשויים להופיע בזמנים שונים באזורים שונים שברחבי המערכת כולה, או אף להגיע למערכת מאזורים ימיים אחרים לזמנים קצובים. חלק ממינים אלה אף מכסים בחייהם מאות ואלפי קילומטרים לאורך מדפי היבשת של הים התיכון כולו וחלקם אף מקיימים במערכת הישראלית אוכלוסיות קבע. רכיב זה כולל מיני בעלי חוליות ימיים וחופיים - דגים, אך גם יונקים ימיים וצבי ים המוגבלים למים העליונים שכן הם זקוקים לנשימה אווירית, ומיני עופות ים הניזונים מיצורים שבמים העליונים בכל רחבי המערכת, ועופות חוף הניזונים מיצורי האזור החופי.

מבין הדגים רכיב מגוון ביולוגי זה כולל כרישים שנעשו נפוצים באזור החופי הרדוד, כריש סנפירתן (*Carcharinus plumbeus*) וכריש עפרורי (*Carcharhinus obscurus*) מופיעים בעיקר בחורף סמוך לתחנות הכוח באשקלון ובחדרה (Barash, 2013), אפשר בשל המים החמים הנפלטים מצינורות מי הקירור. מגוון גדול של מיני יונקים ימיים מזדמנים במערכת הישראלית. במחצית המאה ה-20 נצפו פרטים מ-17 מינים שונים (Kerem et al. 2012). שבעה מהם שוכנים קבועים או עונתיים המתרבים במערכת ואחד, הדולפינן המצוי (*Tursiops truncatus*), מקיים אוכלוסייה יציבה בת מאות פרטים, ולעומתו כלב הים הנזירי (*Monachus monachus*), שהיה נפוץ במערכת הישראלית, נדיר ביותר כיום. שני מיני צבי הים הנפוצים, מתרבים ומטילים את ביציהם בחוף החולי שבשולי המערכת הם צב הים החום (*Caretta caretta*) וצב הים הירוק (*Chelonia mydas*). מאלפי פרטים שלפני המנדט הבריטי האוכלוסיות הצטמצמו דרסטית בתקופתו עקב ציד מאכל, ולאחר מכן המשיכו לרדת במספריהן עקב פגיעות מציד דיג, כלי שיט, זיהום, ועוד (Levy et al., 2015). אך לאחר מאמצי שמירה (שיינין וחוב', 2013) אוכלוסיית הצב החום (איור 3) אך לא זו של הצב הירוק, מתאוששת (שיינין וחוב', 2013).



איור 3: מספר הטלות צבי ים בישראל במהלך השנים 1993-2011 (מקור: לוי, 2012).

הים התיכון עשיר במינים עופות מים ומהם רבים גם במערכת הישראלית. במערכת אזור הכרית ובמים העליונים של מדף היבשת ניזונים מדגי המים העליונים בעיקר מיני שחפים (Laridae), שחפיות (Sternidae) וחמסנים (Stercorariidae) ובמים העליונים של אזור הים העמוק מופיעים גם שלשה מיני סולות (Sulidae) שצדות בצלילה, היסעור המצוי (Puffinus yelkouan) וגם יסעורונים (Hydrobatidae) ניזוני מפלנקטון (שיינין וחוב', 2013). פרטים רבים מכמה מיני עופות המים ניזונים מפסולת השלל של ספינות הדיג במהלך עבודתן, וגם מתרכזים בנמלים, ובעיקר בנמל יפו.

2.3. גורמים מחוללי שינוי במערכת-העל של הים התיכון

עם התקדמות המחקר המדעי של מערכת הים התיכון במהלך המאה ה-20 נפרשו והלכו מגמות שינויים בהרכב ובממדים של המגוון הביולוגי במערכת; האחת – עלייה במספר המינים הזרים (זרים משום מוצאם באוקיינוס ההודי-פסיפי ולא האוקיינוס האטלנטי) ואף פולשים (או "מתפרצים", משום גידול אוכלוסיותיהם והתפשטותן המהירה יחסית ברחבי המערכת), והשנייה – צמצום באוכלוסיות של מספר מינים, לעיתים עד כדי הכחדה מקומית. קיים מידע, גם אם לא מלא, על מספר גורמים המעורבים במגמות הללו. להלן יוצג המידע על מגמות השינוי במגוון הביולוגי, וגורמיהן.

2.3.1. פלישת מינים זרים

2.3.1.1 גורמים עקיפים וממדי הפלישה

הנתיב העיקרי להגעת מינים טרופיים לים התיכון היא תעלת סואץ שנחפרה במאה ה-19 על מנת לאפשר מעבר ספינות סוחר בין האוקיינוס ההודי לים התיכון. העשרת המגוון הביולוגי של המערכת הים תיכונית במינים טרופיים מתבצעת על ידי הפצה טבעית של פרטי המינים של הים האדום ובעיקר גופי ההפצה שלהם (פגיות) הנישאים אל הים התיכון בזרמי המים של תעלת סואץ. אך העשרה זו נעשית גם ישירות בידי אדם, וזאת באמצעות הספינות המשתמשות בתעלה לצורך מעבר מנמלי האוקיינוס ההודי לאלה של הים התיכון. אלה נושאות על ירכתיהן מינים של צמדה ימית (אצות וחסרי חוליות שונים, fouling) ומי-נטל בבטן (הנשאבים לספינה בנמלים שבדרך, ונשפכים לים בנמלי היעד שבים התיכון). מכאן שחפירתה של תעלה זו המהווה נתיב חיבור יחיד בין האוקיינוס ההודי והים התיכון, והשקתה בשנת 1869 מהווה את הגורם העקיף, האנושי, של שינוי אופי המגוון הביולוגי של מערכת הים התיכון. לגורם עקיף זה נוספו שתי פעילויות אדם אשר הקלו את מעבר המינים מהים האדום לים התיכון. האחת היא סכירת הנילוס (סכרי אסואן) במהלך המחצית השנייה של המאה ה-20, תפקדה כשבירת מחסום למעבר יצורי הים האדום לים התיכון, שכן מימיו המתוקים של הנילוס שנשפכו למים המלוחים של הים התיכון בסמוך למוצא תעלת סואץ טרם הסכירה, תפקדו כמחסום פיזיולוגי ליצורים הימיים שהגיעו דרך התעלה אל פיתחה לים התיכון. השנייה היא הרחבת והעמקת התעלה ואף הכפלת קטע ממנה במהלך העשור השני של המאה ה-21 (Galil et al., 2014), מה שהביא לגידול בממדי הספנות הימית העוברת בתעלה (Rilov & Galil, 2009; Edelist et al., 2013) ולכן לגידול בקצב פלישת המינים הטרופיים לים התיכון.

עד ל-2014 זוהו בים התיכון 1020 מינים זרים, מהם 787 באגן המזרחי ו-445 במערכת הישראלית, ומרביתם ממוצא האוקיינוס ההודי-פסיפי (Zenetos, 2014), (Zenetos et al., 2012; Galil, 2012): רכיכות (<120 מינים) דגי גרם (<90 מינים) סרטנים (<70 מינים) והשאר מקבוצות טקסונומיות נוספות (Rilov & Galil, 2009). רוב מינים אלה פלש לאזורי החוף ומדף היבשת, ורק מיעוטם חדר לאזור הים העמוק (Edelist, 2013). המינים המקומיים שעל פני שוניות מדף היבשת נדירים ביותר ורוב החלזונות והצדפות שם הם מינים זרים (Rilov, 2016, Rilov et al., 2018) (איור 4): החלזון

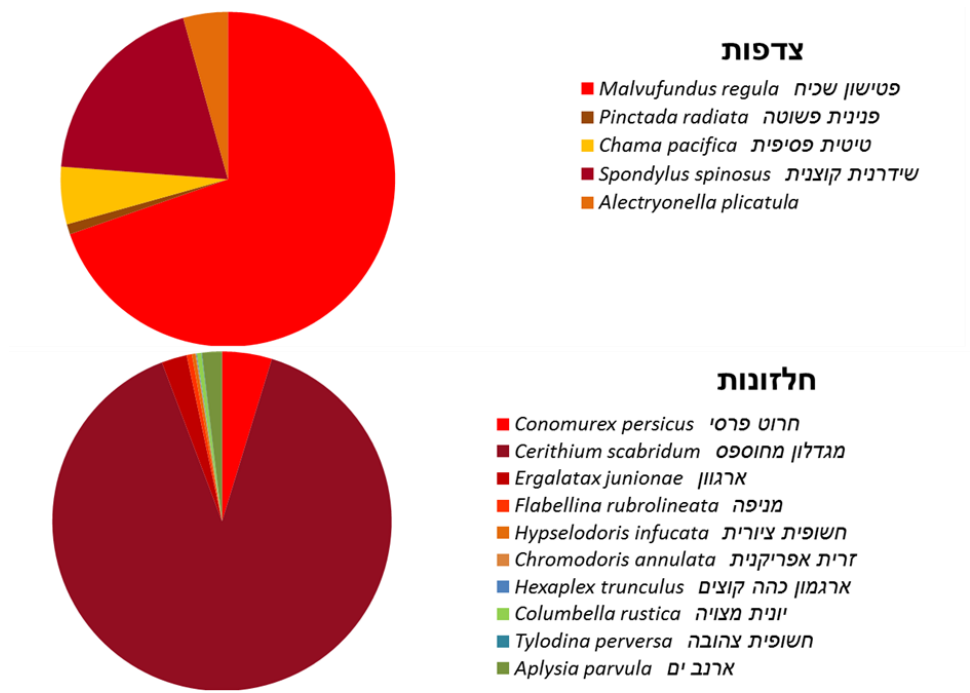
Conomurex persicus שנצפה לראשונה בים התיכון בשנות ה-80 של המאה ה-20 ומהווה למעלה מ-75% ממאסף החלזונות בעומק 15-50 מ'; קונכיות הענק של הצדפה שידרנית מצוייה (*Spondylus spinosus*) ושל החמה הפסיפית (*pacifica*) (*Chama*) המעורבות בבניית השוניות (רילוב, 2014); דגים כברקנים (*Sargocentron rubrum*) וגרזינונים (*vanicolensis*) (*Pempheris*) המאכלסים את המערות והחללים בשוניות; דגים בעלי ערך אסתטי כקיסרונים ופרפרונים (*Chaetodontidae*); ודגים מסוכנים לאדם כדגי אבו נפחא רעילים (*Lagocephalus* spp.) ודגי שפמית (*Plotosus lineatus*) ארסיים (Edelist et al., 2012). על המסלע של מדף היבשת העליון נפוצים מאד זהרונים (*Pterois* spp.) דגים פולשים ארסיים שהשפעתם על המערכת האקולוגית הסלעית כטורפי שונית ללא אויבים טבעיים היא גדולה.

באזור הקרקעית הרכה של מדף היבשת ובעומקים של 15-30 כ-80% מפרטי הדגים הם של מינים פולשים כ-מולית אפון זהוב-פס (*Upeneus moluscensis*), האופירית הנודדת (*Saurida*) macrolepis והגימי הדו-ימי (*Nemipterus randalli*), שנצפה לראשונה במערכת ב-2005, וב-2009 הווה את עיקר ביומסת הדגים שעל הקרקעית הרכה (Edelist et al., 2013). בנוסף נמצאים בעומקים אלה מיני סרטנים פולשים כשייטית נודדת (*Charybdis longicollis*) וטרפיד ים סופי (*Erugosquilla massavensis*), החסילון פנון יפני (*Marsupenaeus japonicus*), וגם החילזון הפולש *Conomurex persicus*, שנצפה לראשונה בים התיכון בשנות השמונים מהווה כיום למעלה מ-75% מהפרטים במאסף החלזונות. בעומקים של 100-71 מ' ובעומקים של 100-150 מ' שכיחות פרטי מיני דגים פולשים היא 40%, ופחות מ-15% משכיחות הדגה כולה, בהתאמה (Edelist et al., 2013).

מים העליונים שמעל מדף היבשת נמצאים גם דגי סמרנון ראסל (*Decapterus russelli*) שפלש בתחילת המאה ה-21 והמליטה (*Sphyræna chrysotaenia*) וצנינון דו-ימי (*Alepes djedaba*) שפלשו מוקדם יותר. החל משנות השמונים הופיעו במערכת נחילי מדוזות מהמין חוטית נודדת (*Rhopilema nomadica*) המאכלסים את גוף המים שמעל למדף היבשת (Deidun et al., 2011) ומימדיהם גדלים והולכים. החל מ-2009 מופיעים גם נחילי המסרקנית (*Mnemiopsis leidyi*) הפולשת וכן מספר מיני מדוזות פולשים נוספים (Galil, 2012; Angel et al., 2016; Fuentes et al., 2010).

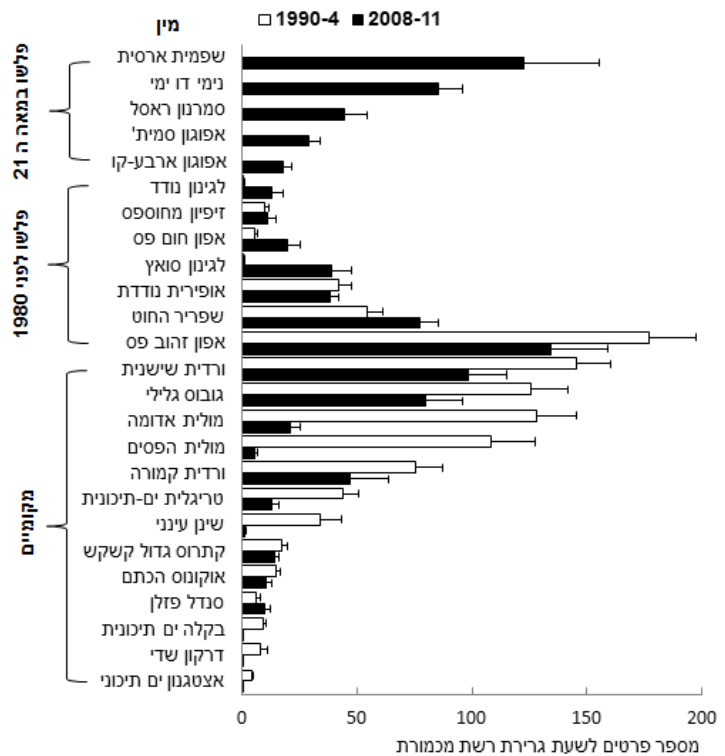
2.3.1.2 המינים הזרים-פולשים כמחוללי שינוי במגוון הביולוגי המקומי

במקביל למגמת העלייה עם הזמן בממדי פלישת המינים הטרופיים וזהו גם מגמות ירידה בממדי המגוון הביולוגי המקומי. למשל, רק מספר קטן מאד של מינים פולשים חדרו לאזור הים העמוק, ורובם פלשו לאזורי החוף ומדף היבשת, שם, ולא באזורים העמוקים, נצפו גם הירידות המשמעותיות בתפוצה וגדלי אוכלוסיות של המינים המקומיים (צדוק וברנע, 2013; Edelist, 2013). לדוגמה, מתוך 36 מיני חלזונות בעלי קונכיה ו-22 מיני צדפות שתוארו כנפוצים או נפוצים ביותר באזורי הכרית והמדף הסלעיים בשנות ה-60 וה-70 של המאה ה-20 (Danin & Barash, 1982) ו-21 ו-13 מינים אלה, בהתאמה, לא נמצאו כלל בסקרים של תחילת המאה ה-21 (Rilov, 2016). כך גם נמצא כי 99% מהצדפות ו-95% מהחלזונות הגדולים (מעל 1 ס"מ) שעל השוניות הסלעיות במפרץ חיפה ובראש הכרמל הם של מינים פולשים (Rilov 2016; Rilov et al., 2018) (איור 4). אפילו בתוך שמורת הטבע הימית של ראש הנקרה, מיני דגים פולשים מהווים חלק נכבד מאסופת הדגים בשוניות הרדודות (Rilov et al., 2018). גם רשתות מכמורת העלו מהמצע הרך של מדף היבשת מעומקים של 15-30 מ' רכיכות וסרטנים ש-70% ו-99% מהם היו מינים פולשים, בהתאמה (Edelist, 2013) ורוב מיני הדגים שעל המצע הרך במדף היבשת הם מינים זרים, וזאת תוך ירידה, לעתים עד היעלמות כמעט מוחלטת, של מספר מינים מקומיים: בעומקים של 15-30 מ', 100-71 מ', ו-150-100 מ' 38%, כ-40%, ופחות מ-15% משפע מיני הדגים הם דגים פולשים, בהתאמה (Edelist et al., 2013).



איור 4: השכיחות היחסית של מיני צדפות וחלזונות גדולים (מעל 1 ס"מ) שנספרו על פני המצע של שוניות סלעיות במפרץ חיפה ובראש הכרמל באביב 2012. גוונים חמים מציינים מינים פולשים וגוונים קרים (כחולים/ירוקים) מינים מקומיים.

בנוסף, נצפתה ירידה ברכיב השלל של דגים מקומיים אל מול עליה ברכיב השלל של דגים פולשים: בהשוואה של מאסף הדגים שנידוגו ברשתות מכמורת בשנים 1994-1990 לזה שנידוגו בשנים 2008-2011 על הקרקעית הרכה של מדף היבשת נמצא כי מספר הפרטים ליחידת מאמץ הדיג של 12 המינים הפולשים היה גבוה בתקופה השנייה מאשר בראשונה, ואילו מספר הפרטים של 13 המינים המקומיים פחת בתקופה השנייה בהשוואה לראשונה, ושלושה מהם לא עלו ברשת כלל, כך שאוכלוסיותיהם כנראה צומצמו מאד (איור 5).



איור 5: מאסף הדגים שנידוגו ברשתות מכמורת מ 1990-4 (בלבן) ומ- 2008-11 (בשחור) על הקרקעית הרכה של מדף היבשת הישראלי. הערכים מציינים מספר פרטים לשעה עבור 25 המינים שתזמו הכי הרבה לשונות בין התקופות. הגעה ותפוצה מהירה של מינים זרים חדשים (למעלה) מלווה בירידה, לעתים עד כמעט היעלמות של מספר מינים מקומיים (למטה). (מקור: Edelist et al, 2013).

אולם, בעוד קיים מידע מפורט על מספר, זהות ומועד הופעת המינים הפולשים ובחלק מן המקרים גם על שפיעותם, המידע המלא על דינמיקת המינים המקומיים לוקה בחסר בעיקר משום שלא נאספו מספיק נתונים על מימדי המגוון הביולוגי במערכת בטרם החלה והתגברה הפלישה מהים האדום. לדוגמה, במהלך העשורים הראשונים של המאה ה-20 זהו במערכת עשרות מיני חוריריות (חד תאיים מרחפים בגוף המים להם שלד גירני) שמקורן באוקיינוס ההודי-פסיפי. הנפוץ בהם, *lobifera* *Amphistegina*, מהווה 50%-90% מכלל מאסף החוריריות (חיימס-קפצן, 2013), אך בהעדר מידע על מספר מיני החוריריות המקומיות וממדי אוכלוסיותיהם, לא ניתן לזהות את המין הזה כמחולל שינוי. יחד עם זאת, גם אם המתאם בין מגמת העלייה בפולשים רבים ומגמת הירידה במקומיים עשוי להיות נסיבתי בלבד, ניתן להניח כי המינים הפולשים מתפקדים כגורם המחולל חלק מן השינוי שכן הם מתחרים במינים המקומיים ומנכסים את הגומחה האקולוגית שלהם. זאת אולי משום שהיתרון התחרותי של הפולשים על המקומיים נובע מכך שמקור המקומיים הוא מזרח האוקיינוס האטלנטי על מימיו הקרים, אך הם נמצאים במי מערכת הים התיכון שהם חמים וגם מתחממים עוד יותר בעשורים האחרונים בשל שינוי האקלים הגלובלי, ואילו מקור הפולשים-זרים הוא ממי הים האדום שגם הם חמים, מה שנותן להם את היתרון התחרותי בהגיעם לים התיכון.

אך מקרי בוחן להשערות אלה ולזיהוי מנגנון מחולל השינוי מעטים. אחד מהם הוא מקרה הצדפה צמודת הסלע בוצית פרעה (*Brachidontes pharaonis*) של ים סוף, שחדרה למערכת הישראלית כנראה בעשור הראשון של המאה ה-20, ונצפתה במשך עשורים רבים כמין נדיר במרבדי אוכלוסיות צפופות שעל סלעי החוף (beachrock) של מין בוצית מקומי *Mytilaster minimus* הקטן משמעותית מהצדפה הפולשת (Safriel et al., 1980). בשנות ה-70 העלה ניסוי שדה את ההשערה כי המין הפולש מתקיים בשווי משקל תחרותי על משאב השטח עם המין המקומי ובשל תנאי הסביבה של הים התיכון הסיכוי להתבססות משמעותית של המין נמוכה (Sasson-Frostig & Safriel, 1988). אך עד לשנות ה-90 אוכלוסיות בוצית פרעה גדלו הרבה

מעבר לממדיהן של הבוצית המקומית שהצטמקו, מה שעשוי להצביע על נחיתות המין המקומי בתחרות עם המין הפולש על שטח מחייה (Rilov et al., 2004).

אולם, אפשר שגורם מחולל שינוי אחר או נוסף תרם להצטמקות אוכלוסיית מין הבוצית המקומית. בעוד שבעשורים הראשונים של המאה ה-20 מרבדי בוציות על גבי טבלאות הגידוד היו נדירים ביותר ונוצרו רק על ידי הבוצית המקומית, החל משנות ה-90 של המאה ה-20 נצפו מרבדי בוציות רבים ונרחבים על הטבלאות, כאשר בוצית פרעה כמעט בלעדית בהרכבם (Rilov et al., 2004; Galil, 2013; 2013). במקביל לשינוי משמעותי זה ביחסים המספריים בין המין הפולש למין המקומי נצפו גם שינויים במין מקומי, החילזון הישיב צינוריר בונה (*Dendropoma petraeum*) שאוכלוסיותיו מצטמקות גם הן (עמיר, 2013; Galil, 2013; Rilov, 2016). מין זה מתפקד כ"מהנדס אקולוגי" הבונה ומתחזק בסיוע מינים נוספים את כרכוב שולי טבלאות הגידוד. בכך מין זה מייצר תנאים סביבתיים ספציפיים לתחזוקת המגוון הביולוגי העשיר של האגנים הרדודים על פני משטח הטבלה. לפיכך אפשר שהשינויים באוכלוסיית הצינוריר הבונה, והשפעתם על תפקודה של טבלת הגידוד כולה יצרו תנאים תומכים לבוצית פרעה הפולשת שאפשרו את פלישתה גם לטבלאות הגידוד, מה שגם עשוי היה להגביר את היתרון התחרותי שלה אל מול הבוצית המקומית (Safriel, 2014).

תהליך דומה לזה של הבוציות ראוי למעקב - החילזון המלחך אצות מפני הסלע באזור הכרית, הצלחית הפולשת (*Cellana rota*) שאוכלוסייתה גדלה רק במהלך העשורים האחרונים, עשויה להתחרות על משאב השטח (והמזון שעליו) עם מספר מיני הצלחיות המקומיות. מקרה אחר של צמצום תפוצת מין מקומי שאפשר שנגרם על ידי מין פולש, הוא זה של מין מקומי המשמש כמזון למין פולש, מה שייתכן ואיפשר למין פולש אחר לתפוס את הגומחה האקולוגית של המין המקומי. מדובר בשטח שוניות מדף היבשת בצפון המערכת שהיה מאוכלס טרם הפלישה כנראה באצות חומיות גדולות, אך כיום האצות החומיות הללו מוגבלות רק לכתמים קטנים שעל פני השוניות (Rilov et al., 2018), וזאת בגין שני מיני דגים פולשים צמחוניים הניזונים על מאקרו-אצות: סיכן הודי (*Siganus luridus*) וסיכן משויש (*Siganus rivulatus*) שלהקותיהם דיללו את תכסית אצות אלה (Yeruham, 2013) (תופעה שנצפתה גם בטורקיה (Kizilkaya et al., 2011)) מה שאולי סייע לשני מיני אצות פולשות, קודיום ננסי (*Codium parvulum*) וגלקסאורה (*Galaxaura rugosa*) (איור 2), להתיישב בבית הגידול של האצות החומיות עם הצטמקות אוכלוסיותיהן.

2.3.2. הביטויים המקומיים של שינויי האקלים הגלובליים

מגמת ההתחממות הגלובלית, שבסבירות גבוהה היא תוצאת הפעילות האנושית, מתפקדת כגורם מחולל שינוי עקיף שביטוי המקומי במספר גורמים מחוללי שינוי ישירים במגוון הביולוגי של מערכת הים התיכון. אלה הם שינויים בטמפרטורת המים, בחומציות המים, במפלס פני המים ובתדירות הסערות של מערכת האגן המזרחי של הים התיכון, והמערכת הישראלית בתוכו. קיימים נתונים על מגמות שינויים בטמפרטורת המים ובמפלס פני הים, וקיימים גם נתונים על מגמות שינויים בגדלי אוכלוסיות של מינים רבים במערכת, אך רק במקרים בודדים ניתן לאתר את הקשר בין שתי המגמות ולזהות שינוי במין מסוים כתוצאה ישירה של אחד משני גורמים אלה. לא נמצאו נתונים על מגמות בחומציות מי הים אך התגובות האפשריות של מגוון ביולוגי ימי לגורם זה ניתנות לזיהוי. לעומת זאת מגמות תדירות הסערות ועוצמתן במערכת הישראלית ותגובות המגוון הביולוגי למגמות אלה לא טופלו כלל.

מאז 1980 קצב ההתחממות של המים העליונים במרחק 50 ק"מ מהחוף הישראלי הוא של כ-0.1 מעלות בשנה (Sisma- Ventura et al., 2014; Ozer et al., 2017), היינו עליה במעלה אחת לעשור במהלך 1980-2010. קצב גבוה פי עשרה מהממוצע העולמי. במי החופים נמדדה עלייה של 1.5-2 מעלות במהלך אותם שלשה עשורים (Rilov, 2016). אחד המינים הבולטים שאוכלוסיותיו הצטמצמו עד לכמעט הכחדה הוא קיפוד הים השחור (*Paracentrotus lividus*) שבאזור הקרקעית הסלעית של מדף היבשת. צפיפותו הייתה 10-2 פרטים למ"ר בשנות ה-70 אך סריקת 80 ק"מ של החוף בשנים 2010-2015 העלתה רק 19 פרטים (Rilov, 2016). במקביל, טמפרטורת הקיץ של פני הים באזור הרדוד של מדף היבשת בראשית שנות ה-90 הייתה 29 מעלות, בעוד שבקיץ 2011 ו-2012 היא עלתה ל-30.5-32.5 מעלות (Rilov, 2016). ניסויי שדה וניסויי מעבדה העלו כי עליית הטמפרטורה אל מעבר ל-30.5 מעלות הביאה לתמותה מסיבית של קיפודי הניסוי (Yeruham et al., 2015). קיפודי ים אלה ידועים כ"מיני מפתח" המווסתים את ממדי התכסית הצמחית של האזור החופי ובכך מעצבים את מבנה המגוון הביולוגי של האזור. מכאן שתוצאות הניסוי מעלות את האפשרות שלא רק קיפוד הים אלא גם מינים נוספים של המערכת רגישים לעליית טמפרטורת המים, מה שעשוי לזוהות את ההתחממות הגלובלית כגורם מחולל שינוי במגוון הביולוגי של מערכת הים התיכון. תיאורטית, אפשרות זו נתמכת בכך שמקור רוב מיני המגוון הביולוגי של המערכת הוא במי האוקיינוס האטלנטי הקרים יותר ממי הים התיכון המזרחי, ולפיכך אפשר שמינים אלה היו קרובים לגבול ההסתגלות הפיסיולוגית שלהם עוד טרם התפתחות מגמת התחממות מי הים, וההתחממות הנוספת, בגין שינויי האקלים הגלובליים, היא מעבר לגבול הסתגלותם, מה שהביא לצמצום האוכלוסיות אף עד כדי הכחדה מקומית. ואכן, מינים מקומיים רבים שתוארו פעם כנפוצים ביותר לא נמצאים כיום בשוניות הרדודות לחופי ישראל (Rilov et al., 2018). שתי תצפיות תומכות בהשערה זו. הראשונה מצביעה על ההבדלים בעונתיות של מספר מיני אצות הנמצאות גם באגן המערבי של הים התיכון שמימיו קרים מאשר אלה של המערכת הישראלית, לעונתיות של אותם מינים שבמערכת הישראלית: באגן המערבי אצות אלה נמצאות בכל עונות השנה, ואילו במערכת הישראלית הן נעלמות כמעט לחלוטין בעונת הקיץ (רילוב, מידע אישי 2018, Rilov et al.). התצפית השנייה העלתה כי מכלול המגוון הביולוגי של חופים סלעיים הצמודים לאזורי פליטת מים חמים של תחנות כוח שונות במידה רבה מזה של אזורי ביקורת (שיינין וחוב, 2013).

יחד עם זאת, לבד ממקרה קיפוד הים השחור אין מידע שיזוה את התחממות המים כגורם מחולל השינוי באוכלוסיות של מינים מקומיים ספציפיים. אך אפשר לתלות שינויים במין ספציפי בהתחממות המים כאשר ניתן לשלול את פעילותו של גורם מחולל שינוי חלופי. למשל, בשנות ה-90 נצפתה ירידה באוכלוסיותיו של מין חופי במערכת, ארגמנית אדומת-פה (*Stramonita haemastoma*) (Rilov et al., 2001), החילוון ששימש בימי קדם להפקת צבע הארגמן ולפיכך סביר שהיה מצוי ביותר בעבר, ובעשור השני של המאה ה-21 נמצא שהמין כנראה נכחד מקומית (עמיר, 2013; Rilov, 2016). לא ניתן לייחס הכחדה זו לסילוק תחרותי באמצעות מין פולש, שכן מיני ארגמנית טרופיים לא פלשו למערכת. לפיכך ניתן לשער שהתחממות המים היא גורם אפשרי להכחדת המין המקומי ואולי יותר מכך, הזיהום הכימי של צבע ירכתי הספינות (TBT) שפוגע ספציפית במיני חלזונות אלה (ראה סעיף 2.3.4.3.2.3.4.3). לעומת זאת, מין מקומי אחר, עשב הים גלית גבוהה (*Cymodocea nodosa*) יצר בעבר מרבדים על התשתית הרכה של אזור החוף ומדף היבשת אך כיום מרבדים אלה נדירים ביותר. אך שטחיהם לא הוחלפו במרבדים של עשב ים פולש אחר, ימון הקשקשים (*Halophila stipulacea*), וזאת למרות שבמערכת מפרץ אילת מין זה מייצר מרבדים נרחבים. משום כך לא ניתן לזוהות את המין הפולש כמחולל השינוי במין המקומי, והתחממות המים עשויה להיות סבירה יותר.

יחד עם זאת, גם אם סביר לייחס את התמעטות פרטי מינים מקומיים רבים להתחממות הגלובלית, מדובר רק בהתחממות המים הרדודים של אזורי החוף והמים העליונים של אזור הים העמוק ולמיני האזורים הללו. אך טמפרטורת המים העמוקים שבמערכת

תמיד נמוכה מזו של המים העליונים, ובכל זאת נצפתה גם ירידה מהותית בשלל הדיג של מספר מינים מקומיים של דגי המים הקרים של אזור הים העמוק, כמו המוליות המקומיות (*Mullus spp.*) ודגי הבקלה (*Merluccius merluccius*) (Edelist et al., 2013b). את הירידה הזו אפשר שניתן לייחס להתחממות מי אזור הים העמוק של המערכת בעקבות הסעת מי עומק חמים לאזור זה מאזורים שמחוץ למערכת, וזאת בעקבות שינוי אוקיאנוגרפי-אקלימי שהתרחש בשנים 1992-3 (Gertman & Goldman, 2013).

לבסוף, ייתכן וקיים איגבור (סינרגיה) הדדי בין התחממות המים ופלישת המינים הטרופיים כגורמים מחוללי שינוי במגוון הביולוגי של המערכת. התחממות הים התיכון תומכת בממדי הפלישה (או ה"התפרצות") של אוכלוסיות המינים הטרופיים במערכת, לאחר שביצעו את שלב ההגירה של פלישתם דרך תעלת סואץ, וחדרו לים התיכון (רילוב, 2014). זאת משום שמקורם בים סוף שמימיו חמים מאלה של הים התיכון, ולכן הם נחונים ביתרון תחרותי על המינים המקומיים. וכך, התחממות המים עשויה להוות גורם מחולל שינוי לכשעצמו, אך הוא גם מעצים את חלקו של גורם מחולל שינוי נוסף, המינים הפולשים, בצמצום ממדי המגוון הביולוגי המקומי של המערכת. אם זאת, חשוב לציין שכאשר מינים מקומיים חשובים נעלמים מן המערכת בשל התחממות המים "אובדים" למערכת גם תפקודים אקולוגיים חשובים. אם כך, יתכן גם כי חלק מן המינים הטרופיים המחליפים אותם מפצים במידה מסוימת על אובדן תפקודים אלו.

2.3.2.2. עליית מפלס פני הים

בין שנת 1992 ל-2012 עלה מפלס הים במערכת בכ-12 ס"מ (Clark et al., 2014), מה שתואם את המגמה הגלובלית של עליית מפלס פני האוקיינוסים בגין ההתחממות הגלובלית האמורה להתעצם עם הזמן. המשך עליה זו (רוב המודלים מדברים על עליה של עשרות סניטמטרים עד מטרים עד סוף המאה) עלול לגרום לשינוי אקולוגי משמעותי בבית הגידול היחודי של טבלאות הגידוד. ניסויים שנערכו בים הראו כי חשיפת מיני הכרית לתנאים של כיסוי קבוע במים אכן גורמים לשינוי החברה וגם להשפעה מוגברת של רעיה על ידי דגי הסיכן הפולשים ובכך לפגיעה בכיסוי האצות היחודי המאפיין את בית הגידול (רילוב, נתונים לא מפורסמים).

2.3.2.3. החמצת האוקיינוסים

העלייה בריכוזי הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה שהיא המניע העיקרי להתחממות הגלובלית מביאה גם לעלייה בממדי ההתמוססות של הפחמן הדו-חמצני (פד"ח) באוקיינוסים, מה שמביא לעלייה בחומציות מימיהם. ידוע כי החמצת מי הים גורמת לפגיעה בקצב השקעת הגיר ובחזקת אצל יצורים בעלי מבנה או תכנית גירית כחלזונות וצדפות שעל הקרקעית, ובמיני פיטופלנקטון בעלי שלד גירי כקוקוליתופורים שבגוף המים להם חשיבות רבה בתהליך האקולוגי התומך של היצרנות הראשונית במערכת הים התיכון כולה (רילוב וטרבס, 2010; Coll et al., 2010). לא נמצאו נתונים על ממדי עליית החומציות במי המערכת הישראלית, ולכן גם לא לממדי ההשפעה של גורם מחולל שינוי זה על המגוון הביולוגי במערכת הים התיכון. אך נמצא כי היצורים משקיעי הגיר שבירים או לא נמצאים כלל במים הרדודים של חופי איטליה שבאזורי הרי געש, שחומציותם גבוהה עקב נביעות פחמן דו-חמצני (Hall-Spencer et al., 2008). ניסויים שנערכו בשנים האחרונות הראו כי החמצת מי הים תהיה השפעה ניכרת על חברת השונות הרדודות בים התיכון בכך למשך שתגביר את גידול אצות אפיפיטיות (גדלות על אצות אחרות) ובכך תשפיע על החברה אקולוגית (גיא-חיים, רילוב, סילברמן, תוצאות לא מפורסמות).

אחד הביטויים החשובים של שינוי האקלים הוא עליה בעוצמת השונות האקלימית והתגברות ארועים קיצוניים כגון סערות, גלי חום וכו'. אין מידע רב על השפעת גורם זה על מערכות אקולוגיות ימיות בישראל, אך מחקר שנערך לאחרונה הראה כי בארבעים השנים האחרונות ישנה עליה בתדירות של מערכות סינופטיות היוצרות אירועי שרב, המתבטאים באזור החוף ברוחות מזרחיות עזות המשטחות את הים קרוב לחוף וחושפות את החוף הסלעי וטבלאות הגידוד לאוויר יבש למשך שעות ארוכות עד ימים, ואפילו שבועות. ארועי יובש ארוכים אלה גורמים לתמותה משמעותית של אצות ובעלי חיים על הטבלה (Zamir et al., 2018). המשך התגברות ארועים אלה יכול לפגוע קשות בחברה האקולוגית היחודית של טבלאות הגידוד.

2.3.3. דיג

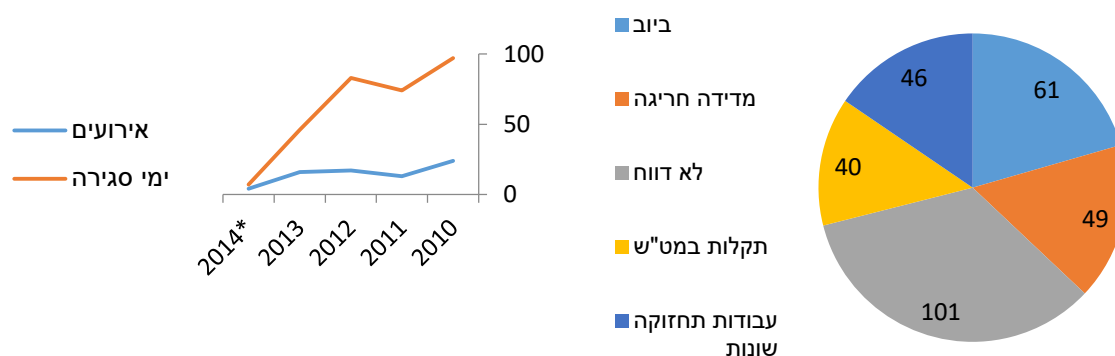
כציד של חיות בר גם הדיג הימי מתבסס על שרות אספקה של משאב מתחדש. כאשר קצב הביקוש לשרות זה (מאמץ הדיג) גבוה מקצב ההיצע שלו (קצב התחדשות המשאב) מתפקד הדיג כגורם מחולל שינוי ישיר שלילי המצמצם את ממדי אוכלוסיית המינים הנדוגים, שינוי הנקרא דיג-יתר (Overfishing), ואשר זוהה גם במערכת הים התיכון של ישראל (סעיף 2.4.3.1: אספקת דגה (דגים וחסרי חוליות) מדיג ימי, איור 9). כמה משיטות הדיג ובעיקר דיג מכמורת מעלות בשוגג גם מיני דגים לא מסחריים וגם מיני בעלי חיים אחרים (שלל לוואי, catchby) מה שמצמצם את אוכלוסיות מינים אלה. בנוסף, פרקטיקות הדיג מתפקדות גם כגורם מחולל "השפעות חיצוניות" שליליות על רכיבים נוספים של המגוון הביולוגי הימי. מאז שנות ה-50 הוכפל כוח מנועי ספינות המכמורת הממוצע, ודייגי רשתות העמידה עברו משימוש במשוטים למנועים חזקים המאפשרים לפרוש ציוד דיג רב וכבד הגורם נזק פיזי לקרקעית המהווה בית גידול למיני קרקעית רבים (Murawski, 2000). גם גרירת רשתות מכמורת על הקרקעית עוקרת בעלי חיים ישיבים, ובעוד בית הגידול של הקרקעית הרכה מתאושש נזק הגרירה על הקרקעית הסלעית הנדירה יותר (שיינין וחוב', 2013) כנראה בלתי הפיך (Pauly et al., 2002; Mazor et al., 2014). מידע על הדיג כמחולל שינוי שהוא ירידה עד כמעט הכחדה מקומית רלבנטי כנראה רק לגבי דג הסול (*Solea solea*) שהיו נפוצים בעבר בקרקעית הרכה אך נעלמו משלל הדיג (Edelist, 2013). אלא שלא ניתן לאבחן במקרה זה בין הכחדה בגין דיג-יתר או בגין פגיעה בבית הגידול. למקרה זה ניתן להוסיף גם את הירידה בשלל דגי הבורי במהלך העשורים של המאה ה-21 (Edelist et al., 2013b) שאולי ניתן ליחסה ללכידה של דגיג בורי בשפכי הנחלים לים התיכון והעברתם לגידול בחקלאות המים. ולבסוף, גם דיג חובבים בחכות עשוי לגרום לשינויים במגוון הביולוגי של טבלאות הגידוד, וזאת בעקבות דריכת הדייגים על הכרכובים וגרימת זיהום בפסולת מוצקה על ידם. בהשוואת חברת הדגים בין שמורת אכזיב לאזורים מחוץ לשמורה נמצא כי שכיחות הדגים המסחריים גבוהה יותר בתוך השמורה והם גם גדולים יותר, עובדה המעידה על השפעה ניכרת של הדיג החופי על הדגה בשוניות הים התיכון של ישראל (Rilov et al., 2018). החל משנת 2016 הוחלה בישראל רפורמה מקיפה בתקנות הדיג, שהפחיתה את מאמץ ושלל הדיג בזמן ובמרחב לרמות נמוכות משמעותית מאשר בעשורים הקודמים (אדליסט, 2018).

2.3.4. זיהום

זיהום המערכת הימית בחומרים (ואף אנרגיה) על ידי האדם עשוי לחולל שינויים בתחום נרחב של המגוון הביולוגי של המערכת.

2.3.4.1 זיהום כימי

לזיהום המערכת הימית מקורות נקודתיים יבשתיים כהזרמת מזהמים ממקור תעשייתי, עירוני וחקלאי באמצעות הנחלים, הזרמות ישירות של שפכים עירוניים ותעשייתיים, מי קירור של תחנות כוח, מרינות, ונמלים, ומזבלות שעל חוף הים; מקורות נקודתיים ימיים כקידוחי נפט וגז, תאונות ימיות, אשפה מכלי שיט ומחקלאות ימית; ואף ממקורות מבוזרים כמזהמים המובלים במי נגר עילי המגיעים לים, מזהמים במי תהום המגיעים לים בזרימה תת-קרקעית, ומזהמים חלקיקיים באטמוספירה הצונחים על פני הים (שיינין וחוב', 2013). בשנים האחרונות חלו ירידה ניכרת בהיקפי השפכים המוזרמים לים ושיפור משמעותי של איכות המים בנחלים הזורמים אליו, בעיקר הודות להקמתם של מתקני טיהור והחלת אסדרה. עם זאת, עדיין קיימת הזרמת שפכים לים- בשנים 2010-2013 נרשמו בממוצע 17 אירועים ובשנים 2014-2017 נרשמו בממוצע 10 אירועים של סגירת חופים בשנה בשל הסכנה לבריאות הציבור (צלול, 2013; צלול, 2017) (איור 6).

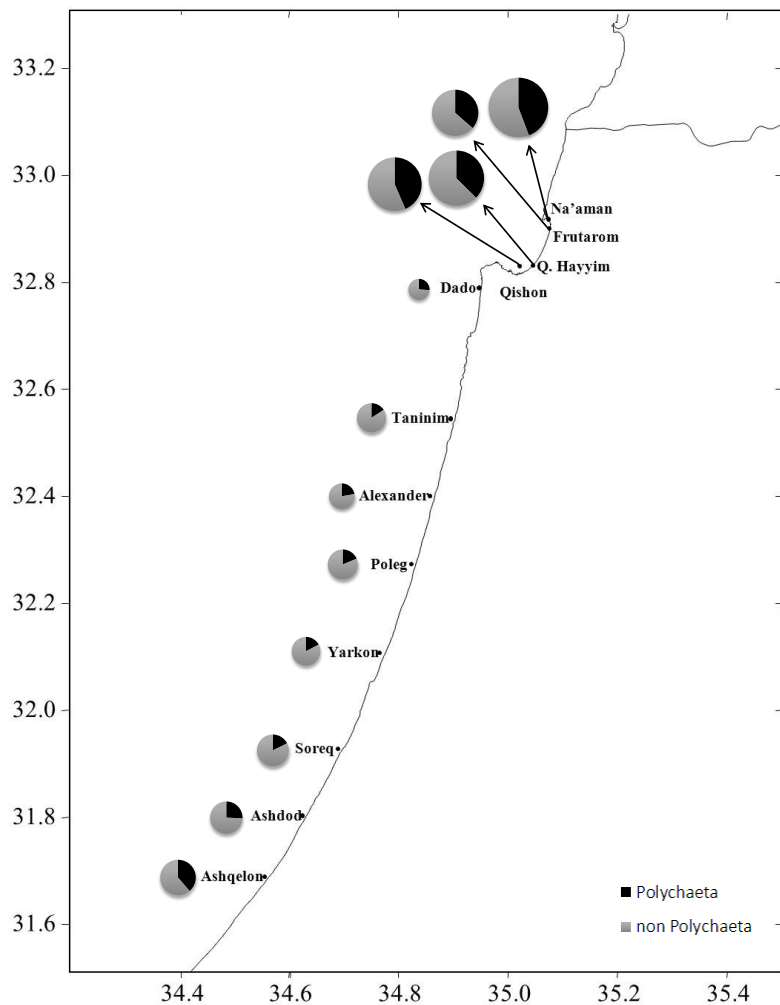


איור 6: מספר האירועים והימים בהם נסגרו חופי הארץ מאז 2010 (משמאל) והסיבות לסגירת החופים (מימין). הנתונים באדיבות עמותת "צלול", המפרסמת לפני ובתום כל עונת רחצה את תוצאות הניטור של משרד הבריאות בחופי הרחצה, במרחק 150 מ' מכל סוכת מציל (צלול 2013). *2014 – 6 חודשים בלבד.

2.3.4.2 שפכים ביתיים

שפכים ביתיים (בעיקר מי ביוב גולמי) המובלים למערכת הימית באמצעות מערכות ניקוז ונחלים ומערכות טיפול בשפכים (בעיקר בוצה), מכילים תרכובות מינרליות של חנקן וזרחן המתפקדות כחומרים מזינים (חומרי דשן) ליצורים פוטו-סינתטיים (בעיקר אצות זעירות מרחפות, פיטופלנקטון) שבמערכת, ואלה תורמים משמעותית לתחזוקת כל המגוון הביולוגי שבה. היות ומי המערכת עניים (יחסית לימים אחרים) בתרכובות אלה, השפכים עשויים לתפקד כמחוללי שינויי חיובי במגוון הביולוגי, וזיהום זה במי השפכים מכונה לפיכך "העשרה". העשרה זו מתרחשת בישראל מול מוצאים נקודתיים: מפרץ חיפה ועכו, אזור השפד"ן (5 ק"מ מהחוף, עד לעצירת הזרמת השפכים מהשפד"ן כמעט לחלוטין בשנת 2016), אשדוד ואשקלון (בעיקר בשל הביוב הגולמי הזורם מעזה) ובשפכי רוב הנחלים (חרות וחוב' 2012) (איור 7), וכוללת כ-5,300 טון תרכובות חנקן (מתוכם כ-60% מהשפד"ן והשאר בעיקר מנחלי החוף) וכ-1,400 טון תרכובות זרחן (מתוכם כ-80% מהשפד"ן) (חרות וחוב', 2012). העשרה זו באזור שמול השפד"ן (עד מרחק של 7 ק"מ צפונה ממנו) (קרט וחוב', 2012), עודדה בעבר אוכלוסיות מגוון

התולעים הרב-זיפיות ממשפחת ה-Capitellidae שבתשתית הרכה, ועושה את אזור זה לאחד משדות דיג החסילונים והדגים העשירים ביותר שבמערכת הישראלית (שיינין וחוב', 2013).



איור 7: מספר הפרטים שנאספו בדיגום הסדימנט בעומק 10 מ' מול שפכי נחלים בישראל בשנים 2006-2012 (מצוין על ידי הגודל היחסי של העיגול) והיחס בין מספר התולעים הרב זיפיות לבין כלל הפרטים (החלוקה בעיגול). שילוב זה מהווה מדד להעשרה של חומר אורגני בקרקעית (מקור: חרות וחוב', 2014).

אלא שמעבר לערך סף מסוים העשרה זו מעודדת גם את אוכלוסיות הפיטופלנקטון שבגוף המים, מה שמביא לפגיעה ברכיבים אחרים של המגוון הביולוגי הימי. עודף חומרי הדשן עלול להביא לגידול מואץ ביותר של האצות הללו ("פריחת אצות"), מה שמייצר עכירות של המים ובעקבותיה פגיעה בתהליך הייצור הראשוני תלוי-האור של האצות הללו ומביא לתמותתן ושקיעת השלדים לקרקעית. הפירוק של מצבורי הביומסה הזו (התהליך האקולוגי התומך של מיחזור החומרים) על ידי חיידקים אוורניים (נושמי חמצן) עלול לגרום לירידה בריכוזי החמצן המומס במים (היפוקסיה), הגורמת לעקה ואף לתמותה של דגים ומיני חסרי החוליות שבקרקעית (Kimor, 1992).

2.3.4.3 מזהמים תעשייתיים

חומרים כימיים תעשייתיים שבשימוש האדם ומומסים במים מגיעים למי המערכת בזרימות מאתרי השימוש בהם, כחומרים אורגניים קוטלי מזיקים, חומרי הדברה והורמונים, ומתכות כבדות ככספית, עופרת, ניקל, ארסן וקדמיום גם משפכי המפעלים

המייצרים אותם. רובם אינו מתפרק במהירות אלא מצטבר בקרקעית ובגוף המים. המתכות הכבדות רעילות בריכוז נמוך יחסית מעכבות גדילה, מזיקות לרקמות ולמערכת הרבייה, וגורמות להפרעות הורמונליות ולהתנהגות של בעלי חיים (חרות וחוב', 2012). חלק מהמתכות וגם ההורמונים שבשפכים יוצרים הפרעות הורמונליות אצל בעלי החיים שבמערכת. ריכוזי רבים מהמהמים הללו גדלים והולכים במעלה מארג המזון שבמערכת כך שריכוזיהם עלולים להיות גבוהים ביותר דווקא במינים המתפקדים כטורפי על, ביניהם דגים מסחריים שאכילתם עשויה לפגוע בבריאות האדם ובכך נעשה גורם מחולל שינוי זה במגוון הביולוגי לגורם הפוגע בתועלות המופקות משירותי אספקת הדגה של המערכת. קיימים תקנים לרכוזי מזהמים בדגי המאכל, אך אין תקנים לריכוזים שבמי המערכת שעלולים להזיק לרכיבים שונים של המגוון הביולוגי. ידוע רק שבמהלך שני העשורים של המאה ה-21 לא זוהו שינויים בריכוזי המתכות הכבדות (כספית וקדמיום) ברקמות הדולפינים שבמערכת, והם היו בתחום הריכוז התת-רעיל עבור האדם (Kerem et al., 2014) וכך גם לא במיני דגים מסחריים (קרט וחוב', 2013), אך ב-2012 חרג ריכוז הכספית מערך הסף לבריאות האדם ב-19%, בדגי אזור החוף שבמפרץ חיפה. בנוסף, ידוע על זיהום כימי תעשייתי של בדיל אורגני (TBT) המשמש כצבע כימי המונע התפתחות של מיני צמדת-הים (fouling) על ירכתי כלי שיט ומתקנים ימיים, אך גם מחולל פגיעה ספציפית בקצב הרבייה של חלזונות אזור החוף, ארגמון כהה קוצים (*trunculus Hexaplex*) וארגמנית אדומת פה (*Stramonita haemastoma*) (Rilov et al., 2000). השימוש בחומר זה אסור בשנים האחרונות אך יקה עוד זמן רב עד שיעלם לחלוטין מן המערכת הימית, וכך גם השפעתו. לעומת זאת לא נמצאה השפעה של חומרים משבשי פעילות רבייה אצל דגים במפרץ חיפה ומדרום לו וכך גם ריכוזי חומרי ההדברה במי החוף ועל קרקעית המדף נמצאו זניחים (חרות וחוב', 2012).

2.3.4.4 דלקים

עד לסוף שנות ה-70, דליפות והזרמות דלקים ("שמן", או נפט ונגזרותיו) מכלי שיט בלב ים גרמו להיווצרות כמות גדולה של כדורי זפת באזור החוף של המערכת, ומאז ועד לשנת 1985 רגולציה ואכיפה הפחיתו וכמעט שאיפסו את כמות הזפת המגיעה לחוף (Golik & Rosenberg, 1987), אך הותירו כתמי זפת עבים על הסלעים באזור הכרית. כיום, כ-12 מיליון טון של נפט בשנה משונעים לישראל דרך הים (הג"ס, 2014) ומשנת 1980 דווחו רק 18 אירועי זיהום בנפט, שהסתכמו ב-808 מ"ק המהווים 0.2% מסך דליפות הנפט המדווחות בים התיכון, והשפעתם קטנה ומקומית בלבד (עמיר, 2013). השפעות ידועות של זיהומי נפט על המגוון הביולוגי הן רעילות (בדרך כלל מיוחסת לפחמימנים קלים ונדיפים), כיסוי פיזי של מצע ויצורים ופגיעה בתהליכי גדילה, רבייה ותפוצה של בעלי חיים ימיים. זאת באמצעות תזונה, מגע עם העור ובליעה העלולים לגרום נזק לכבד ולכליות, אנמיה, דיכוי של מערכת החיסון, ואף מוות (NOAA, 2010), אך אין תיעוד על פעילותו של מחולל שינוי זה במערכת הישראלית. הצבת אסדת ההפקה של שדה הגז לווייתן על מדף היבשת מול חוף דור מהווה אף היא איום של שפך דלקים שכן דלק קל מסוג קונדנסט שמזורם יחד עם הגז מאוחסן בה ומשונע ממנה בצנרת ההולכה.

2.3.4.5 פסולת מוצקה

הפסולת המוצקה המהווה גורם מחולל שינוי במגוון הביולוגי של המערכת הימית היא זאת של מוצרי הפלסטיק למיניהם, שנעשים לפסולת לאחר שסיימו את תפקידם והושלכו בחופים, בעיקר על ידי הנופשים בחופי הרחצה בעונות הרחצה בים. באמצעות גלי החוף והרוחות אשפת פלסטיק זו מוחדרת למערכת (Van der Hal, 2014) (פסטרנק, 2014). גורם זה מחולל נזקים פיסיים ונזקים פיזיולוגיים לרכיבים רבים של המגוון הביולוגי במערכת כולה. הנזקים הפיסיים נגרמים בעיקר משקיות הפלסטיק שיצורים נלכדים בהן או שהם בולעים אותן ומביאים אז לחנק ולבעיות עיכול אצל יונקים ימיים, כרישים, צבי ים,

ציפורי ים, דגים, סרטנים, רכיכות ועוד. מקור הנזקים הפיזיולוגיים הוא בתכונות הכימיות של הפלסטיק שמתפרק במי הים ועם חשיפתו לשמש ליחידות קטנות, עד לרמה המולקולרית של הפולימר הבסיסי שלהן (microplastics). יחידות אלה מכילות חומרים רעילים שנשארו מתהליך הייצור סופחות מהמים תרכובות אורגניות רעילות כגון DDT, PCBs (ביפנילים עתירי-כלור) ו-PAHs (פחמימנים ארומטיים עתירי-טבעות) ונזק קורה כאשר הן נצרכות על ידי יצורי הפלנקטון ונזקה נצרכות על ידי מיני הפלנקטון שבגוף המים. ריכוז חלקיקי המיקרו-פלסטיק במי המערכת הישראלית גבוה משמעותית אף מזה של צפון-מערב הים התיכון (Van der Hal, 2014), אך ממדי הפגיעה של גורם מחולל שינוי זה על רכיביו השונים של המגוון הביולוגי של המערכת אינם ידועים (Barnes et al., 2009). רכיבים נוספים של האשפה החופית המושלכת על ידי המשתמשים בחופים הם חלקי זכוכית, מתכת, עץ ועוד, מה שמהווה בעיקר מפגע אסתטי שבעטיו ממדי המשתמשים בשרותי התרבות של המערכת ובעיקר של האזור החופי עשויים להצטמצם (צנובר, 1999).

2.3.5. זיהום רעש תת-ימי

רעשים תת-ימיים הנובעים מפעילות האדם במערכת הימית מוגדרים כזיהום כאשר הם מחוללים שינוי שלילי במגוון הביולוגי הימי. רעשי מנועי ספינות, סקרים סיסמיים של איתור נפט וגז ופיצוצים אחרים, קידוחים ימיים, פעילויות בניה, תקיעת כלונסאות וחפירה בקרקעית הים, וסונר בתדרים נמוכים ובינוניים שבשימוש צבאי עלולים למסך אותות של בעלי החיים הימיים - לניווט, לאיתור מזון וטורפים, ולתקשורת בין פרטים והם אף עלולים לפגוע באיברי שמע עד כדי חירשות חלקית או מלאה. בכלל הים התיכון נצפו השפעות שליליות על 55 מיני חולייתנים וחסרי חוליות (ACCOBAMS, 2012) וידועה ירידה בשלל הדיג באזורים שנערכו בהם סקרים סיסמיים (McCauley et al., 2000). מינים הרגישים לרעשי הסונר הם דגי מעמקים ויונקים ימיים, בעיקר לווייתנאים שמשתמשים בתדרים אלה לתקשורת ארוכת טווח. בסיכון גבוה מצויים הראשתן (*Physeter macrocephalus*) והזיפוס חלול-החרטום (*Ziphius cavirostris*), המבלים זמן רב בצלילות עמוקות שכן עוצמת הקול המשודר בסקרים הסיסמיים גדלה עם העומק (שיינין וחוב, 2013). שני מינים אלה רק מבקרים נדירים במערכת הישראלית, אך האוכלוסיות הגדולות ביותר של יונקים ימיים המגיעים תדירות למערכת הן של הדולפינן המצוי (*Tursiops truncatus*) (Kerem et al., 2012). אין מידע על השפעת גורם מחולל שינוי זה על מיני האזור העמוק של המערכת הישראלית, אך נצפתה עלייה בפגיעות הדף חמורות ובתמותה באוכלוסיית צבי הים של המערכת הישראלית בתקופה שחפפה למועדי הביצוע של סקרים סיסמיים שליוו את פעילות חיפוש מאגרי הגז והנפט בשנת 2011 (שיינין וחוב, 2013).

2.3.6. פיתוח פיזי

2.3.6.1 פיתוח תשתיות

שוברי גלים של מעגנות, נמלים וחופי רחצה מחוללים שינויים בממדי האספקה ובהכוונה של החול המוסע מהנילוס צפונה לחופי המערכת הישראלית ומושקע באזור הכרית שלה, מה שמחולל שינויים בממדיה ומיקומה של התשתית החולית של אזור הכרית באתרים השונים שלו לאורך החוף בישראל. שינויים אלה מתבטאים בגריעת חול מאתרים מסוימים והשקעת חול באחרים, תהליך המחולל שינויים בממדי התפוצה של מיני התשתית הרכה של אזור הכרית. גם המבנים שנועדו להנגיש את החוף לציבור (טיילות, מדרכות, מזחים, מסעדות, מקלחות ועוד), מהווים קירות (seawall) אליהם מתנפצים גלי הסערות ובחוזרם הם סוחפים את החול החופי חזרה לים, מה שמביא להצרת החוף (צביאלי וחוב, 2014), היינו לצמצומה של חגורת

הכרית העליונה על המגוון הביולוגי שלה. יחד עם זאת, שוברי הגלים וגם המזחים של המרינות והנמלים מוסיפים לאזור הכרית שטחים של מצע קשה עליו מתיישבת צמדת-ים של חסרי חוליות רבים (גלזר, 2013). בין אלה גם פוליפים (שבלים צעירים) של מדוזות כנראה מעדיפים מצע "חדש" (ללא צמדה ביולוגית קיימת) על מצע קשה "טבעי" (נקאר, 2011). פיתוח פיזי זה של תשתיות קשיחות באזור החוף נראה שמעודד מינים זרים פולשים, כאשר תשתיות אלה מתפקדות כ"אבני דילוג" בתהליך פלישתם אל רחבי המערכת (Angel et al., 2016). מכאן שהיצורים המאכלסים את המצע הקשיח החדש משנים אך גם מעשירים מקומית את אזור הכרית, ונמצא שתהליך זה מביא גם לשינויים במגוון הביולוגי של הקרקעית הרכה הסמוכה (Edelist & Spanier, 2009). בנוסף, מבנים מלאכותיים רבים, כ-74 לאורך חופי ישראל (ביתן, 2014) הממוקמים בחלקו הרדוד של אזור מדף היבשת מתווספים למסלע הטבעי שהוא נדיר באזור זה. מבנים אלה הכוללים בעיקר שוברי גלים, דרבנות, מערומי סלעים ומזחים, מהווים בית גידול מועדף למספר רב של דגים וחסרי חוליות ומושכים אליהם דייגי כחות וכן צוללים חופשיים (Edelist & Spanier, 2009). אם זאת, מבנים מלאכותיים אינם זהים או מחליפים מבנים טבעיים ולרוב מאכלסים מינים אופרטוניסטיים ואחוז גבוה יותר של מינים פולשים (Airolidi et al., 2015).

תהליך בנייתן של כל התשתיות הפיזיות לעיל מהווה גורם מחולל שינוי בתפוצתו וממדיו של המגוון הביולוגי החופי, ובעיקר זה של המצע הרך. גורם זה מתפקד לזמן קצר בלבד, אך עשויה להיות לו השפעה ארוכת טווח: גרירת הציוד חורצת את המצע הרך ומרחיפה חול; החפירה וכריית החול גורמות להרחפת משקעים גדולה יותר, שעלולה לגרום ירידה ביצרנות הראשונית עקב הגבלת חדירות האור; כשהמשקע החפור מכיל מזהמים, אלה עלולים להתפזר בים ואף לעודד פריחת אצות; שקיעת החול המרחף על המצע עלולה לכסות ואף לקבור את היצורים שתחתיו, במיוחד באתרי המצע הסלעי; כריית המצע הרך מסירה אותו יחד עם היצורים שעליו ובתוכו ומשום שהיא משנה את הטופוגרפיה ומשטר הזרימה המקומיים היא משפיעה גם על ממדי שיקום המגוון הביולוגי לאחר סיום הבנייה, תהליך הנמשך כמספר חודשים (שיינין וחוב, 2013). לעומת זאת, חפירה במצע סלעי קשה לשיקום, שכן לאחר ניתוקם ממצע זה יצורי המינים הישיבים לא יכולים לחזור ולהיצמד אליו, וכך גם אלה שבתוך מסלע הכורכר שעם סילוקו יאבדו יחד עם בית הגידול שלהם (רילוב וגיא חיים, 2014). שלב נוסף בתהליך הבנייה, זה של תקיעת כלונסאות הבטון מייצר רעשים המתפקדים אף הם כגורם מחולל שינוי (ראה סעיף 2.3.5), גם אם לא לאורך זמן.

ולבסוף, פעילויות פיתוח החוף ותחזוקתו מהוות גורם מחולל שינוי ברביית צבי הים, הן בשלב בחירת אתרי ההטלה וחזרה מהם לאחר ההטלה על ידי הנקבות, תהליך המושפע לרעה מהזיהום החופי ומזיהום האור הלילי, והן בשלב הבקיעה וההגעה למים של הצבים הצעירים (שיינין וחוב, 2013). גם "חריש" חופי הרחצה לסילוק אשפה ונסיעה בכלי רכב על קו החוף מהווים הפרעה מתמשכת לצבים, וכן לטרטני החול. לסיכום, המידע לעיל הוא איכותני בלבד, וכמעט ואין כנראה מידע כמותי וספציפי על שינויים ומגמות במגוון הביולוגי של המערכת, אשר חוללו על ידי גורם השינוי של פיתוח התשתיות החופיות-ימיות.

2.3.6.2. מיתקנים חופיים וימיים

גורמים מחוללי שינוי נקודתיים העשויים להשפיע בעיקר על סביבתם הקרובה, תחנות כוח ומתקני התפלה הממוקמים מחוץ למערכת אך שואבים וגם פולטים מים למערכת החוף, וגם מתקני חקלאות ימית הממוקמים בגוף המים העליונים, בעיקר באזור החופי.

2.3.6.2.1. תחנות כוח

לאורך חופי הארץ ארבע תחנות לייצור חשמל – בחיפה, בחדרה, בתל-אביב ובאשדוד. התחנות שואבות מים מהים לצורך קירור ומחזירות אליהם מים מוכלרים בטמפרטורה הגבוהה ממי המקור ב-1-7 מעלות (שיינין וחוב, 2013). הגורם מחולל השינוי הישיר הוא אפוא שינוי איכות וטמפרטורת מי הים המקומיים ב-5 מעלות בחורף ו-7 מעלות בקיץ כך שטמפרטורות מי הים בסביבת התחנה (למשל בחדרה) הן 25 ו-36 מעלות בחורף ובקיץ, בהתאמה. ההתחממות זו אמורה לשנות את הרכב

המגוון הביולוגי שבסביבות התחנה, בהתאם להתאמותיהם הטרמיות. עד כה ידוע על תמותת חד תאיים מקבוצת החוריריות (פורמיניפרים) בקרקעית (חיימס-קפצן וחוב', 2013) ועלייה בשיעור גבוה של פרטי מיני כרישים המבלים במוצאי תחנות הכוח בחדרה, באשדוד ובאשקלון, אם כי לא ידוע אם המים החמים הוא הגורם הישיר או היחיד לגידול זה (Barash, 2013).

2.3.6.2.2 מתקני התפלה

בישראל שלשה מתקני התפלה, בחופי אשקלון, פלמחים וחדרה, ומחצית מכמויות המים הנשאבות מושבות לים כתמלחת בעלת ריכוז מלחים כפול (קרס וחוב', 2012) הכולל את החומרים שנדחו ממי הים בתהליך ההתפלה וגם כימיקלים הדרושים לתהליך (שיינין וחוב', 2013). נמצא כי שחרור התמלחת לים שמליחותו 30ppt (חלקים לאלף) מעלה את המליחות במרחק 100 מ' מהמוצא (במרחק קילומטר מהחוף, בפלמחים) ל-42ppt, ל-39ppt ברדיוס של כ-250 מ' ורק במרחק 500 מ' המליחות מתכנסת לזו של המערכת החופית כולה (קרס וחוב', 2012). בנוסף נמצאה עליה בריכוזי כספית, ברזל, אלומיניום, עופרת ומנגן בחומר המרחף, בעיקר ליד המוצא אך גם באתרים נוספים סביבו (קרס וחוב', 2012).

שחרור מצומד של התמלחת עם מי הקירור של תחנת כוח סמוכה, כמו בחדרה ובאשקלון, מביא למיהול משופר (שיינין וחוב', 2013). התמלחת הצפופה שוקעת בקרבת המוצא לים, ולפיכך עשויה להשפיע בעיקר על מיני הקרקעית הקרובה למקור ההזרמה - תולעים רב-זיפיות, סרטנים, קווצי עור ורכיכות. אך עד כה כנראה נצפתה רק ירידה ביעילותן הפוטוסינתטית של אצות כתוצאה משחרור התמלחת ממתקן אשקלון (קרס וחוב', 2012). ניסויים המדמים את תהליך ההמלחה הראו השפעה על חברת החיידקים בים התיכון (Belkin et al., 2015).

כמות המים השנתית שנשאבת מהמערכת הישראלית בשנים האחרונות היא כ-650 מל"ק, בהם לכודים ומוצאים מגוף המים מינים פלנקטוניים, ברובם אצות פלנקטון, מה שעשוי לפגוע ביצרנות המערכת באזור השאיבה. כמות המים הנשאבת להתפלה נמוכה פי כמה מהכמות הנשאבת לקירור טורבינות תחנות הכח, אך היא נשאבת ממרחק של 1-2 ק"מ מהחוף – אזור עשיר מאד בדגה, בעוד מי הקירור נשאבים כמעט צמוד לחוף. מים אלו מכילים גם ביצים ופגיות של מיני חסרי חוליות וביניהם גם צמודי קרקעית, ושל מיני דגים, ולכך יכולות להיות השלכות גם על האוכלוסיות הבוגרות של מינים אלו. עד כה לא נמצאו נתונים מהארץ ומחוצה לה על ממדי ההשפעה של גורם שינוי זה על המגוון הביולוגי של האתרים הסמוכים לאתרי השאיבה.

2.3.6.3 חקלאות ימית

החקלאות הימית כגורם מחולל שינוי במגוון הביולוגי של המערכת, היא זו שמתקניה הם בתוך המערכת, היינו, לא מדובר בגידול מסחרי של דגי ים בבריכות שמחוץ למערכת. במערכת הישראלית נמצאות חוות כלובי רשת שבנמל אשדוד ומספר חוות קטנות יותר של כלובי רשת בגוף המים כ-11 ק"מ מאשדוד וכ-3 ק"מ ממכמורת. בכלובי הרשת מזינים דגיגים של דג הדניס שגודלו במדגרות, עד שהם מגיעים לגודל מסחרי. חוות אלה מתפקדות כגורם עקיף המייצר גורמים מחוללי שינוי ישירים שלכל אחד מהם הפוטנציאל לחולל שינוי שלילי במגוון הביולוגי של המערכת בה ממוקמים המתקנים: העשרה אורגנית של מי הים שמחוץ לכלובים מכופתיות המזון שלא נצרכו על ידי הדגים שבתוך הכלובים, ומהפרשות הדגים שתוצאותיה ירידה בריכוז החמצן במי הקרקעית שמתחת לכלובים, ולכן פחיתה באוכלוסיות מיני הקרקעית, וגם/או פריחת אצות רעילות; זיהום מי הים בתרופות, חומרי חיטוי ואנטיביוטיקה, בחיידקים פתוגניים, במתכות כבדות או שאר חומרים העלולים להיפלט מן החוות ולהשפיע על המגוון הביולוגי; אספקת תוספת של מצע קשיח המעודד התיישבות בעלי חיים ישיבים (בעיקר אצות, ספוגים, רכיכות, סרטנים וחסרי חוליות אחרים); מבנה הכלובים, הדגים בתוכו ופעילות הממשק של החוות מתפקדים גם כ"תחנות האכלה" למיני דגים, ביניהם גם מוגנים כדגי טונה וכרישים ואף דולפינים הנמשכים לחוות, אך אין מידע המעריך את החיובי כנגד השלילי בגורם מחולל שינוי זה במגוון הביולוגי המקומי. כך גם אין מידע כמותי וספציפי על השינויים במגוון הביולוגי של המערכת שחוללה החקלאות הימית שבתוכה.

2.3.7. פעילויות לניצול משאבי הגז והנפט שמתחת למערכת הימית

צרכי האנרגיה של ישראל מהווים את הגורם מחולל השינוי העקיף המניע את הפעילויות שבוצעו ומתבצעות במערכת הישראלית לצורך ניצול משאבי הגז והנפט, פעילויות המתפקדות כגורמים מחוללי שינוי ישירים במערכת עצמה ובמגוון הביולוגי שלה. תהליך הניצול פותח בחיפושים הכוללים סקרים סיסמיים ברחבי המערכת. אלה מביאים לזיהוי האתרים לקידוח והפקה שמרביתם באזור הים העמוק על המדרון והמישור שלו, וחלקם גם על מדף היבשת. לפעילות הקידוח הנקודתי השפעה ברדיוס של קילומטרים רבים מסביבו. כאשר הקידוח מגיע למאגר המשאב מתחילה פעילות ההפקה והטיפול במוצר שמתבצעת על מבנים המוקמים בתוך המערכת (אסדות), ומהם נשלח המוצר בצנרת להולכת המוצר דרך המערכת ואל מחוצה לה. מכאן שכל אזורי המערכת הימית חשופים, כל אחד בדרגה ספציפית של חשיפה לשינויים שכל אחד מהגורמים לעיל עשוי לחולל.

2.3.7.1. חיפוש וקידוח

חיפוש גז ונפט כוללים סקרים סיסמיים בעזרת תותחי אוויר המפיקים קול בעוצמה גבוהה להם פוטנציאל גבוה לפגיעה ביצורים ממינים רבים שבעמודת המים ובקרקעית (ראה סעיף 2.3.5. זיהום רעש תת-ימי). עד שנת 2014 בוצעו 62 קידוחים במערכת (חרות וחוב', 2014), מרביתם בדרום מדף היבשת ובאזור הים העמוק. בכל אחד מאתרי הקידוח נקדח חור בעומק של אלפי מטרים עד הגיעו למאגר. החומר הנקדח (המטחן cuttings) – משקעים ושכבי מסלע עובר ניקוי והפרדה מנוזל הקידוח טרם הזרמתו בחזרה לים. המטחן המזורם לים נערם על הקרקעית שסביב הקידוח ברדיוס של 200 ו-500 מ' מהקידוח, כך שכל פרטי המינים צמודי הקרקע ואלה השוכנים בתוך הקרקעית נקברים בשטח הכולל של 7.8 ו-48.7 קמ"ר של אזור דרום מדף היבשת והים העמוק, בהתאמה. בנוסף, ברדיוס של קילומטרים רבים סביב הקידוחים באזור הים העמוק נמצאו ריכוזי בריום גבוהים שמקורם כנראה בנוזל הקידוח, שכן למרות ההפרדה, המטחן מכיל עדיין שיירים שלו. אלה עלולים לייצר רעילות במשקעי הקרקעית, הפוגעת בזימים ובמערכת רבייה של דגים וחסרי חוליות ואף עלולה להביא לתמותה כשריכוזיה גבוהים, וזאת בתלות ברמת הניקוי של הבוצה, ובאם שבבי המטחן נותרים על הקרקעית, מוזרקים למאגר או נלקחים לחוף לניקוי.

2.3.7.2. הפקה וטיפול

תהליך ההפקה, המתחיל עם סיום הקידוח, מעלה מהמאגר את המוצר (נפט/גז) יחד עם מי המוצר (produced water) שמופרדים מהגז ואמורים להיות מוזרקים חזרה למאגר אך כמעט תמיד חלק ניכר מהם משתחרר למים. ממדי פלט זה גבוהים ובהם רעלנים בעלי השפעה פוטנציאלית גבוהה: תרכובות ארומטיות רב-טבעתיות (Carpenter et al., 2009) ותרכובות אורגניות כפולים בסיסיים (Lee & Neff, 2011) והמתכות בריום, ברזל, מנגן, כספית ואבץ, כולן בריכוזים גבוהים בהרבה מריכוזן הטבעי במי ים. קיימות עדויות להצטברות פחמימנים ארומטיים אצל צדפות (אך לא אצל דגים) שריכוזם דועך עם המרחק מנקודת השחרור עד מיהול של מעל פי 100 במרחק 100 מ' מהמוצא (Carpenter et al., 2009). השפעתם כימיקלים אלה על המגוון הביולוגי במערכת הישראלית לא ידועה (שיינין וחוב', 2013) אך אפשר שבריקוזים נמוכים עלולה להתפתח רעילות כרונית ארוכת טווח (Lee & Neff, 2011).

לאחר הפקת הגז הוא מטופל על פלטפורמה ומוזרק לחוף באמצעות צנרת. פעילות זו כגורם מחולל שינוי כוללת הקמת הפלטפורמה והנחת הצנרת ולאחר מכן תפעולן. שתי אסדות כאלו הוקמו בעומק 200-250 מ' מול אשקלון בספטמבר 2019 הוצבה אסדת ההפקה של שדה "ליתן" בעומק מים של 86 מ' במרחק כ-10 ק"מ מול חוף נחשולים. אין עדיין מידע על השפעת תהליך ההקמה של תשתיות כאלו. אך משהוקמו, קיומם ותפעולם של אסדות טיפול, אסדות קידוח, מתקני הפקה, מתקני טיפול, סככות הברזל שבגוף המים והבטון והברזל שלהן בקרקעית שבאזור המישור העמוק הרחק מהחוף, עשויים לתפקד כמקורות זיהומי שפכים, אור ורעש. אך גם אם המגוון הביולוגי העלול להיפגע מאלה עניי יחסית באזור זה של הים העמוק, מצע המבנים

הללו מעודד התיישבות של יצורי מינים רבים ומסביבם מתלהקים דגים רבים, ביניהם מינים בסכנת הכחדה כטונה כחולת סנפיר וכרישי מים עליונים (ראה גם סעיף 2.3.6.3). לעומת זאת צנרת ההולכה לה עוגנים, שרשראות ועוד אמורה לחצות את מדף היבשת בעל המגוון הביולוגי העשיר יותר, ועליו דווקא הוקם מתקן הטיפול בגז. אין מידע על השפעת גורם זה על המגוון הביולוגי אך סביר שרבים מחסרי החוליות המתיישבים על המבנים והצנרת במקומות שתיחשף באזור המדף, יהיו מינים פולשים זרים (Angel et al., 2016). בצנרת מהמאגר אל האסדה וממנה אל החוף מוזרם עם הגז גם קונדנסט, דלק קל שדומה בתכונותיו לסולר. שפך של קונדנסט עלול להיות רעיל מאד לחי הימי בטווח גדול, שתלוי במימדי הדליפה. עד סוף שנת 2020 לא ידוע על אירועים כאלו, אך מספר תקלות תפעול באסדה ובמאגר מדליקות נורה אדומה של זהירות נדרשת בטיפול בדלקים ובהולכתם.

2.4 מצב ומגמות באספקת שירותי מערכת הים התיכון

2.4.1 שרותי תמיכה

2.4.1.1 יצרנות ראשונית ומיחזור חומרים

2.4.1.1.1 מהות השירותים, מנגנון התמיכה, והמגוון הביולוגי המעורב בהפקתם

שני תהליכים אקולוגיים המשולבים זה בזה, תהליך היצרנות הראשונית ותהליך מיחזור החומרים, מביאים לייצור ביומסה מחומרי גלם מינרליים, שהיא הבסיס לקיומם של כל יצורי המגוון הביולוגי של המערכת, ולכן גם לתפקודיהם בהפקת כל שרותי המערכת האחרים, שרותי הווטוס, האספקה והתרבות. תהליך היצרנות הראשונית מתבצע באמצעות מנגנון הפוטוסינתזה של יצורים צמחיים, בעיקר זעירים המרחפים בגוף המים של המערכת (פיטופלנקטון), ותהליך מיחזור החומרים מתבצע באמצעות מנגנוני פירוק ביוכימיים של תרכובות אורגניות על ידי חיידקים בגוף המים ובעיקר בקרקעית. מנגנונים משולבים אלה מביאים לייצור ביומסה חיה של גופות היצורים הפוטוסינתטיים, יצורי הפיטופלנקטון וצמחי ים אחרים, ייצור הנסמך על פחמן דו-חמצני ומינרלים הנקננים וזרחניים המומסים במי הים, ומונע באנרגיה האור החודרת למים. תהליך ייצור זה גם משחרר חמצן לגוף המים ומומס במי הים, מה שמאפשר גם הוא את קיומו ותפקודו של מרב המגוון הביולוגי שבמערכת הזקוקים לחמצן לנשימה; יותר ממחצית מהחמצן המיוצר על פני כדור הארץ מקורו במנגנון הפוטוסינתזה המתבצעת על ידי רכיב המגוון הביולוגי הפוטוסינתטי (Nellman & Corcoran, 2009). עם מות היצור הפוטוסינתטי גופו שוקע בגוף המים ומגיע לקרקעית. בדרך, ובעיקר בקרקעית, מצטברת כל הביומסה המתה של מרב יצורי הים, ונחשפת לתהליכי הפירוק, בעיקרו על ידי חיידקים מפרקים אך מיני חסרי חוליות, בעיקר סרטנים אך גם דגים ניזוני רקב מעורבים בתהליך. אילולא ביצוע מיחזור זה בקרקעית, מרבית הביומסה האורגנית המתה על המינרלים שניתנים להפקה ממנה הייתה נקברת בקרקעית ובכך אובדת למערכת כולה.

2.4.1.1.2 ממדי הפקת השרות

תהליך מיחזור החומרים מתבצע בעיקר לאחר ערבול מי הים בחורף חיידקים מנצלים את חומרי הדשן המועלים מהעומק (Zohary et al., 1998) לייצור חמצן, מה שתומך בתהליך היצרנות, המעודד "פריחת" של פיטופלנקטון, היינו גידול אוכלוסייה אינטנסיבי אך לא לתקופה ארוכה. גם אם ידוע שהיצרנות הראשונית במערכת הים התיכון נמוכה ביחס לימים אחרים, אין נתונים מפורטים על ממדיה וגם לא על ממדי אוכלוסיות הפיטופלנקטון באזורים השונים של המערכת (Berman et al., 1984). ידוע שצפיפות, הרכב וגודל הפרטים של הפיטופלנקטון משתנים עם העונה, המרחק מהחוף, ועם ריכוזי חומרי

הדשן במים. כך גם ידוע שאוכלוסיות הפיטופלנקטון גדולות וצפופות על מדף היבשת באביב, עם תום אספקת חומרי הדשן (Berman et al., 1984), ואילו הרחק מהחוף הן קטנות, דלילות, ואולי אף לא מבצעות יצרנות ראשונית (Azov, 1986).

2.4.1.1.3 מגמות, גורמים מחוללי שינוי, ותועלות

עם סכירת הנילוס בסוף שנות ה-60 של המאה הקודמת חדלה אספקת חומרי הדשן שהוסעו ממוצא הנילוס לים בשיטפונות הסתיו, מה שהביא לירידה ולאחריה יציבות בממדי היצרנות הראשונית במערכת. תהליכי מיחזור הפחמן וכן חנקן, זרחן וחומרים אחרים מאפשרים את זמינותם לשאר יצורי המגוון הביולוגי שבמערכת. גם בקרקעיות שפכי נחלים וסמוך למוצאות הזרמה ימיים, התחפרותם של סרטנים וחלזונות בסדימנט מרחיפים אותו (Bioturbation) ומשחררים את החומר האורגני הכלוא בו, ובכך נעשה זמין למיחזור בתהליכים בקטריאליים (Olsgard et al., 2008).

שרותי התמיכה תומכים בשירותי אספקת דגה, בוויסות האקלים הגלובלי באמצעות לכידת פחמן, בוויסות איכות המים, ואף בשרותי התרבות שחלקם נסמך על תוצרי היצרנות הראשונית, וביניהם מיני בעלי חיים ימיים המושכים תשומת ליבם של המבלים בים ובמימיו הבלתי מזהמים.

2.4.1.2 תמיכה בבתי גידול למגוון הביולוגי.

2.4.1.2.1 מהות השרות והמגוון הביולוגי המערב בהפקתו

במערכת הימית מצויים מינים המייצרים מבנים וחללים המשמשים בית גידול למינים אחרים (ומשום כך נקראים "מהנדסים אקולוגיים"). לדוגמא חסרי חוליות בוני שוניות גירניות, מרבדי אצות גירניות על המסלע שבמדף היבשת, אלמוגי עומק על אזור מדרון היבשת, חסרי חוליות שמתחפרים במצע הרוך וכך יוצרים מערכות מחילות (Beaumont et al., 2007), ותולעי צינורית (Sipunculida) קודחות במצע הקשיח, ועוד (חרות, 2012). גם טבלאות הגידוד הנוצרות ומתוחזקות על ידי מיני חלזונות ישיבים (ראה סעיף 2.2.1.2.1). יוצרות בית גידול למגוון ביולוגי עשיר. מגוון זה מתקיים על פני הטבלה, על ובתוך הכרכוב המקיף אותה, בצנר שמתחת לשוליה (רילוב וגיא חיים, 2014) גם על גבי גושי הכורכר השקועים במים שלמרגלות הטבלה מתקיימת תכסית ביוגנית של חסרי חוליות ישיבים ואצות, ואלה מהווים בית גידול המספק מזון ומסתור למגוון ביולוגי נלווה עשיר (יהל, 2011; Edelist & Spanier, 2009).

2.4.2 שרותי ויסות

2.4.2.1 ויסות איכות מי הים

2.4.2.1.1 מהות השרות

לאיכות מי הים חשיבות מההיבט הבריאותי (וגם האסתטי) של המתרחצים והמבקרים בים, ולאחרונה גם מההיבט התעשייתי של כשירות מי הים לתהליך ההתפלה. הים מהווה אגן היקוות למים המתנקזים מהמערכות היבשתיות ולכן נושאים עמם מזהמים שמקורם בפעילות האדם במערכות אלה, בעיקר שאריות של קוטלי מזיקים ודשנים הנסחפים לים באמצעות נגר עילי מהמערכות החקלאיות, ומי נקז מהמערכות העירוניות הנושאות עמן את כל הנשטף מגגות, מדרכות וכבישים. לאלה נוסף זיהום המוסע במים שלאחר שימוש ביתי (בעיקר אורגני) ותעשייתי (בעיקר כימי, כולל מתכות כבדות) ברמות שונות של טיהור ("שפכים") המוזרמים אל הים במכוון. כמו כן גורם הזיהום האורגני הכבד להעתרה (עודף) של חומרי דשן במערכת שעלולה לעודד פריחת של אצות רעילות. מי הים מזדהמים, גם בשמנים ובדלקים פוסיליים שמקורם בפעילות האנושית בים עצמו, בעיקר זו של הספנות והנמלים. איכות מי הים מתבטאת אפוא בריכוזה של תערובת מזהמים זו במי הים בהם היא נמלה. ריכוז זה עשוי להיות מווסת כאשר רכיבים שונים של הזיהום מווסתים על ידי רכיבים שונים של המגוון הביולוגי הימי.

2.4.2.1.2. מגננון הפקת השרות ורכיבי המגוון הביולוגי המעורבים בהפקתו

הרכיב האורגני של הזיהום (שמקורו העיקרי הוא ביוב ביתי, וחלקו הופך לבוצה במתקני הטהור וכולל גם חיידקים פתוגניים), מרחף או מושקע לקרקעית ואז נצרך כמזון על ידי מינים רבים של חיידקים החיים בגוף המים ובקרקעית, בהתאמה. בסופו של תהליך חיידקי זה, חלק גדול של הזיהום האורגני נפלט לגוף המים כפחמן דו-חמצני מסיס. אוכלוסיות החיידקים הללו (למשל, הקוליפורמים שמקורם בצואה) מוסתות על ידי טורפיהם, יצורים חד-תאיים כמו ריסניות ושוטניות שבגוף המים (Rosen & Belkin, 2006). בקרקעית מתבצע שרות הוויסות גם על ידי חיידקים וגם על ידי יצורים רב-תאיים כגון תולעים מקבוצת הנמטודות, שניזונות על תרכובות אורגניות אותן הן מפרקות ועל החיידקים הפתוגניים שהתפתחו על תרכובות אלה, ולכן אוכלוסיותיהם גדולות יחסית באזורים מזהמים במיוחד (חרות וחוב', 2014). גם המולקולות המורכבות של רכיבי הזיהום שאינם אורגניים – אלו של הזיהומים התעשייתיים (כימיקלים, מתכות כבדות, שמנים ודלקים) – מתפרקות לרכיבי הבסיס שלהן באמצעות מנגנונים ביוכימיים, כל אחת על ידי מיני חיידקים ספציפיים לה. רכיבי בסיס אלה נצברים בגופם של החיידקים, ובכך ריכוז המזהמים התעשייתיים בים פוחת. אפשר שמינים הניזונים מסינון מי הים (filter feeders, או "ניזוני סינון"), החל מתולעים זיפניות ובלוטי-ים וכלה בדגים (כסרדינים, מקרלים ואנשובי) לוכדים גם חלקיקים אורגניים מרחפים במים ובכך תורמים לשרות וויסות איכות המים. אך מעורבות רכיב זה של המגוון הביולוגי באספקת השרות לא נבדק.

2.4.2.1.3. תועלות השרות ותרומתן לרווחת האדם

זיהום מי הים משפיע על התהליכים במתקני ההתפלה של האוסמוזה ההפוכה המתבססת על ממברנות דרכן נדחפים מי הים הנשאבים למתקן ההתפלה. למשטחי הממברנות נצמדות מולקולות אורגניות פשוטות יחסית והן משמשות מצע להתפתחות חיידקים הנשאבים אף הם למתקני ההתפלה, מה שיוצר "צמדת ים" על הממברנות המורידה את יעילות ההתפלה (בר זאב וחוב', 2013). המולקולות האורגניות הפשוטות האלו הן תוצרי פירוק ראשוני של הזיהום האורגני הימי, שעקב מידותיהן הקטנות עברו את הסינון הראשוני של המים הנשאבים למתקן ההתפלה. סביר שריכוז גבוה של זיהום אורגני במים הנשאבים למתקן ההתפלה מקשה ומאט את הסינון, ומייקר אותו, אך השפעת זיהום המים הנשאבים, וממדי המיתון של השפעה זו על תהליך ההתפלה על ידי שרות וויסות איכות מי הים לא נחקרו.

שרות וויסות איכות מי ים עשוי לתרום לרווחת האדם בגין תועלותיו הבריאותיות שמאפשרות שימוש במי הים ללא חשש לפעילויות פנאי וספורט, ואולי יש לו גם תרומה כלכלית אם אמנם הוא תורם ליעילות תהליך ההתפלה. אלא שגם אם הידע על פוטנציאל המגוון הביולוגי של יצורי הים הזעירים לווסת את ממדי הזיהום הימי ולהעלות בכך את איכות מי הים קיים (למשל: Bauer & Capone, 1985), לא זיהינו מידע המאפשר לכמת את מימושו של פוטנציאל זה, ואת תרומתו לאיכות המים בהשוואה לתרומת המיהול הפיזי של המזהמים במי הים. זאת כיוון שלא מצאנו נתונים על ההבדל שבין ריכוז המזהמים עם כניסתם למערכת הימית לבין ריכוזם במים שבחופי הרחצה ובאתרי השאיבה למתקני ההתפלה. לדוגמה, תקן משרד הבריאות לאיכות מי הים בחופי הרחצה אומר שמי הים יוגדרו כמזהמים כאשר מספר חיידקים קוליפורמים צואתיים ב-100 מ"ל מי ים לא יהיה גבוה מ-200 ביותר מ-20% מהדגימות, ומספר החיידקים האנטרוקוקים לא יהיה גבוה מ-105 באף אחת מהדגימות (הנחיות המהנדס הראשי, משרד הבריאות, 2010); אך לא ניתן להשיג את תוצאות הדיגומים בחופי הרחצה, וכך גם אין נתונים על איכות המים במוצא מי השפכים לים. בנוסף, אין מידע על תרומת הרכיבים הספציפיים של המגוון הביולוגי להשגת רמת איכות המים הנדרשת על ידי תקן זה של משרד הבריאות לאיכות המים בחופי הרחצה. התמיכה היחידה שנמצאה עד כה על פעילות שרות וויסות איכות מי הים בישראל הייתה הממצא שהבוצה הנוצרת בשפד"ן בתהליך טיהור השפכים ונפלטת אל הים, נעה בעיקר צפונה לאורך החוף (במהירות של כ-10 ס"מ בשנייה), ולכן הייתה אמורה להגיע לחופי הרחצה של תל אביב תוך יממה אחת בתנאי זרם מתאימים. אך היות ובוצה לא נצפתה עד כה בחופי הרחצה של תל אביב, לא ניתן להסביר את הירידה

התלולה בריכוז זיהום חופי זה בתל אביב בהשוואה לזה שבמוצא השפד"ן (קרוס וגליל, 2012) אלא בכך שהיא מתבצעת על ידי שרות וויסות איכות מי הים שהמערכת הימית מספקת באמצעות רכיבים של המגוון הביולוגי שלה.

2.4.2.1.4 מגמות

ממדי ההזרמה של זיהום לים התיכון בישראל גדלו והלכו במהלך העשורים הראשונים של המדינה וזאת בשל גידול האוכלוסייה ובצריכה לנפש. אך במהלך העשורים האחרונים ממדי הזיהום קטנו והלכו עקב עליה ברמת הטיפול בשפכים, צמצום החקלאות, הרגולציה בתעשייה וצמצום הזרמת מים מזוהמים לים מדלתת הנילוס בשל הקמת סכר אסואן במעלה הנהר. לפיכך סביר (אם כי אין נתונים לכך) שאיכות מי הים עלתה במהלך העשורים האחרונים וממדי האספקה של שרות הוויסות פחתו, וזאת לא משום פחיתה בהיצע השרות אלא משום ירידה ב"ביקוש". היות והזיהום מהווה משאב למגוון הביולוגי החיידקי ולרכיבים נוספים שלו המווסתים את הזיהום באמצעות ניצול, סביר שממדי המגוון הביולוגי המעורבים באספקת השרות הלכו והצטמצמו בעשורים האחרונים גם כן, כך שצמצום הזיהום בידי אדם הוא הגורם לשינוי במגוון הביולוגי הרלבנטי. כך גם לא ידוע על גורמים מחוללי שינוי אחרים באספקת שרות זה. אך משום שאין בידינו נתונים על איכות מי הים במהלך השנים לא ניתן לאמור שממדי אספקת שרות וויסות איכות מי הים מותאמים לממדי הזיהום, היינו שההיצע תואם תמיד את הביקוש.

לסיכום, גם אם קיומו של שרות וויסות איכות מי הים לצורכי רחצה והתפלה אינו מוטל בספק, קיים פער ידע נרחב על מידת תרומתו להשגת האיכויות הנוכחיות של מי הים ועל רכיבי המגוון הביולוגי והתהליכים המעורבים בוויסות כל אחד מרכיבי הזיהום. לשרות זה קמו במהלך השנים תחליפים טכנולוגיים שווים את איכות המים בהצלחה מרובה, כך שגם ממדי אספקת שרות המערכת וגם ממדי השימוש בו נמצאים במגמת ירידה. אילו היו בידינו נתונים על ממדי שרות הוויסות טרם הפעלת תחליפים טכנולוגיים אלו כגון מתקני טיהור שפכים, ניתן היה להציג את עלות הפעלת המתקנים הללו כשווי שירות מערכת זה שניתן בחינם.

2.4.2.2 ויסות בליית מצוק הכורכר החופי

2.4.2.2.1 מהות השרות

שרות זה הוא בבחינת גרסת המערכת הימית של שרות וויסות סחיפת הקרקע המתפקד במערכות היבשתיות. לאורך קטע חוף בן כ-45 ק"מ, בין אשקלון לחדרה (23% מאורכו של החוף), מתנשא לסירוגין בעורף החוף מצוק כורכר לגובה של 10 עד 50 מטרים. מרחקם הממוצע של קטעי המצוק מקו החוף מתנווד בין 0 ל-50 מ' מהחוף. המפנה המערבי של הרכסים, הפונה אל הים הוא מצוקי, עקב היותו חשוף לפעילות הגלים המביאים לבליה טבעית שלו. על רכסים אלה פזורים אתרי ארכאולוגיה ומורשת ומבנים ותשתיות אשר בליית המצוק מסכנת אותם. ההגנה על המצוק מפני בלייה זו עשויה להינתן על ידי מחסום פיזי שממתן את עוצמת הגלים. מצוק החוף מהווה ערך טבעי ייחודי שמאפשר מבט מרחבי אל הים. הוא מעשיר את שירותי המערכת התרבותיים של החוף עצמו.

2.4.2.2.2 מנגנון השרות

טבלאות הגידוד מהוות את המכשול הראשון בו נתקלים הגלים, וכאשר אלה מצויות מול המצוק, השפעת הגלים על המצוק עשויה להתמתן. מיתון פיסי של עוצמת גלי הים המגיעים אל החוף מתבצע בשני שלבים: בשלב הראשון מתמתנת עוצמת הגל עם התנפצו על הכרכוב המקיף את הטבלה (שגובהו המרבי כ-10 ס"מ מפני משטח הטבלה) במפנה המערבי שלה; בשלב השני הגל מאבד מעוצמתו עקב החיכוך תוך תנועתו על פני משטח הטבלה לכל רוחבה (בין 5 ל-70 מטרים), מקצה הטבלה הפונה לים במערב ועד לקצה החופי במזרח. לולא פעילות רכיבים של המגוון הביולוגי הבונים את הכרכוב, מתחזקים את הטבלה כולה ומונעים את בלייתה אל מפלס שמתחת לפני הים, הטבלה הייתה מתמוטטת, שבריה היו מתכסים במי הים, ותפקודיהם כשובר גלים היה פוחת.

2.4.2.2.3 המגוון הביולוגי המעורב בהפקת השרות וממדי ההפקה

המורפולוגיה הייחודית של טבלאות הגידוד נוצרת בתהליכי בליה ביו-גאו-פיזיים של רכסי כורכר שנצבו בקו המים, ובליותם נבלמה במפלס פני הים על ידי ציפוי גירני קשיח של מסלע הכורכר. ציפוי זה עשוי משכבות של קונכיות צמודות-מסלע ודמויות לצינורות מפותלים של חלזונות ישיבים ממשפחת הצינוריים. יחד עם "מלט" המופרש על ידי אצות גירניות זעירות וסותם את החללים שבין הקונכיות נוצר ציפוי גירני קשיח ועמיד, שהוא תוצר פעילות ביולוגית (ביוגני). רק בשכבה העליונה של הציפוי הקונכיות נושאות חלזונות חיים, כך שהתיישבות הפגיות של הדור הבא היא על גבי שכבה זו. שני מיני צינוריים מעורבים בייצור הציפוי: צינוריר בונה (*Dendropoma petraeum*), שצפיפות קונכיותיו, שכבה על גבי שכבה, מייצרת מעין כרכוב מוגבה בשולי הטבלה, והצינוריר התולעני (*Vermetus triqueter*), מין מעט גדול יותר אך צפיפותו נמוכה, ומעורב ביצירת ציפוי דק ולא אחיד בעיקר על פני משטח הטבלה (רילוב, 2014).

כל אלה הם רכיבי המגוון הביולוגי של הכרכוב ושל חלקים ממשטח פני הטבלה המעורבים באספקת השירות. לרכיבים אלה מצטרף גם רכיב המגוון הביולוגי של תכסית האצות שעל פני משטח הטבלה, התורם להגברת החיכוך עם הגלים הנעים על פני משטח זה, ובכך עשוי להקטין את עוצמתם ולהגביר את ויסות בליית המצוק החופי. ככל שטבלאות הגידוד צרות יותר ועוצמת הגלים הנשברים על פני המצוק גדולה יותר כן גדולים ועמוקים יותר הצנירים בבסיס המצוק המערערים את יציבותו, וככל שהן רחבות יותר כך קטנים הצנירים (ספרא, 1962). לא נמצאו נתונים על ממדי המיתון של עוצמת הגלים על ידי הטבלאות וגם לא על השפעת מיתון זה על ממדי הבליה, מה גם שהאורך הכולל של מצוקי הכורכר הניצבים היום אל מול טבלאות הגידוד הוא רק 5.8 ק"מ, בעיקר בחופי פלמחים, בת ים, נתניה, מכמורת וגבעת אולגה. אולם במעט האחרים בהם הטבלאות ממוקמות מול המצוק נראה כי בליותו אכן קטנה מאשר הבליה שנצפתה במצוקי כורכר שאינם ממוקמים אל מול טבלאות גידוד (איור 8).



איור 8: תצלומי אוויר של חופים עם ובלי טבלאות גידוד בישראל. בתצלום, החופים שממערב לגבעת אולגה (משמאל) ולעין הים (מימין), חדרה.

2.4.2.2.4. תועלות, תרומתן לרווחת האדם

גם אם ממדי אספקת השרות הזה קטנים יחסית, לתועלותיו של השרות בהגנה על תשתיות ובינוי על ובקרב המצוק יש היבט כלכלי וגם היבט בטיחותי בשל הפחתת סכנת התמוטטות המצוק ובעקבותיה גרימת נזקים לאדם ורכוש. לכך ניתן להוסיף גם את התועלת החברתית/תרבותית שכן נוף מצוקי הכורכר הינו טיפוסי לחופי הים התיכון של ישראל ונחשף לעיני תושבי האזור החופי ולרבים אחרים המבקרים בחופי ישראל, וגם טבלאות הגידוד לכשעצמן והמבנה הייחודי שלהן מוסיפות ערך נופי לאזור החוף ומשמשות לפעילויות פנאי כדיג חכות (ראה להלן, שרותי תרבות). ביטויה של חשיבות השמירה על המצוק החופי מפני בליה ואף על טבלאות הגידוד הוא בהקמת חברה ממשלתית להגנת המצוק החופי (ב-2012) בהשקעה חד-פעמית של 650 מיליון ש"ח.

2.4.2.2.5. מגמות וגורמים מחוללי שינוי

במהלך העשור האחרון של המאה ה-20 והראשון של המאה ה-21 פחתה אספקת השרות שכן נצפתה ירידה משמעותית בגדלי אוכלוסיות החילוץ הכונה את כרכוב הטבלאות (צינוריר בונה) ובאתרים רבים הכרכוב נראה שחוק למדי או אינו קיים (Rilov et al., 2004). הגורמים המחוללים שינוי זה עדיין אינם ידועים (רילוב, 2014). הביטויים המקומיים של שינויי האקלים הגלובליים, התחממות המים והעלייה במפלס פני הים, תופעות שנצפו במערכת, עשויים להיות מעורבים בתופעה, אך עדיין אין מידע התומך בכך. בהתייחס לגורם הישיר של עליית מפלס פני הים והתחזיות להתגברותו (עד כ-60 ס"מ במהלך המאה), ובמשרעת הכרית הצרה של שני מיני הצינוריריים, הפחיתה באוכלוסיותיהם ועליית המפלס עלולות להביא להצפת הטבלאות אל מתחת לפני המים, ולקריסתן, ולקטיעת אספקת השרות (רילוב, 2014).

2.4.2.3. ויסות אקלים גלובלי

2.4.2.3.1. מהות השרות

טמפרטורת האטמוספירה היא אחד הגורמים הבסיסיים המעצבים את האקלים הגלובלי. לפחמן הדו-חמצני (פד"ח) חשיבות רבה בעיצוב טמפרטורת האטמוספירה, וזאת בהיותו "גז חממה" הסופג את קרינת החום המוחזר מפני כדור הארץ, מונע את זליגתו לחלל ובכך מחמם את האטמוספירה. ריכוזם של גזי החממה באטמוספירה גדל והולך החל מפריצתה של "המהפכה התעשייתית", מה שמביא ל"התחממות הגלובלית" ובעטיה ל"שינויי האקלים הגלובלי", מונח המתייחס לעליה בריכוז גזי החממה, שהעיקרי ביניהם הוא הפד"ח. קיימת סבירות גבוהה שהשינוי האקלימי מביא ויביא בחובו נזקים לאנושות מה שמעורר התעניינות באמצעים לוויסות האקלים הגלובלי כך שיחזור למצב הקרוב למצבו, לפחות בסמוך לפרוץ המהפכה התעשייתית. זאת באמצעות שתי פעילויות, האחת הקטנת פליטות הפחמן הגזי (הפד"ח) לאטמוספירה, והשנייה שמירה ואף הגדלה של מאגרי הפחמן האורגני המוצק שמקורו בפחמן אטמוספרי גזי.

2.4.2.3.2. מנגנון השרות ורכיבי המגוון הביולוגי המעורבים בהפקתו

שירות ויסות האקלים הגלובלי על ידי מערכות אקולוגיות מתבסס על הפעילות השנייה, באמצעות מנגנון לכידת הפד"ח מהאטמוספירה ואצירתו במערכות האקולוגיות של כדור הארץ, הן כרכיב הביומסה של המגוון הביולוגי שלהן והן כחומר אורגני בתשתיותיהן - בקרקע במערכות היבשתיות ובגופי המים של מערכות המים הפנים-ארציות ובמערכות הימיות. מנגנון זה מתבסס על התהליך האקולוגי התומך של הייצור הראשוני (ראה סעיף 2.4.1.1). המקבע פד"ח, היינו הופך אותו בתהליך הפוטוסינתזה לפחמן אורגני, שהוא אבן הבניין של גוף היצורים המבצעים תהליך זה, והקרויים יצרנים ראשוניים. ויסות האקלים הגלובלי על ידי המערכת הימית מתבצע ידי ספיחת ולכידת פד"ח שמקורו באטמוספירה, הנמצאת בשיווי משקל ושחלוף חומרים תמידי עם הים.

הייצור הראשוני במערכות הימיות נעשה באמצעות אנרגיית האור, על ידי יצורים פוטוסינתטיים - אצות מיקרו וחיידקים פוטוסינתטיים בגוף המים העליונים וכל אצות המקרו בקרקעית המים הרדודים ואזור הכרית – אזורי המערכות הימיות אליהם חודר אור השמש.

שלא כבמערכות היבשתיות, הפחמן המקובע והנאצר במערכות הימיות על ידי היצרנים הראשוניים הוא פד"ח המומס במי הים שנאצר בגופם כפחמן אורגני. מנגנון לכידת הפחמן ואצירתו בים כולל את כל התהליכים הבונים והמתחזקים את גופם של אצות המיקרו והמקרו ושל החיידקים הפוטוסינתטיים המהווים את מכלול הביומסה הימית החיה, כמאגר הפחמן הלכוד (או האצור) בה. בנוסף, עם מותם של היצורים הללו מתרחש תהליך אקולוגי תומך נוסף, מיהזור החומרים (ראה סעיף 2.4.1.1). שבעטיו חלק מהפחמן האצור בביומסה המתה מתפרק למולקולות אורגניות מסיסות ומרחפות בגוף המים וחלק נוסף - לחומר אורגני מת השוקע בקרקעית. אלה מהווים מאגר פחמן לכוד (או אצור) בגוף המים ובקרקעית, פחמן "מת" אך מקורו במאגר החי. היינו, כל יצורי המגוון הביולוגי הפוטוסינתטי של המערכת הימית גם אוצרים את הפחמן בגופם וגם "מזריקים" פחמן אורגני למאגר הפחמן של גוף המים ושל הקרקעית בכל אזורי המערכת.

היות וקיים שווי משקל בין הפד"ח הגזי האטמוספרי והימי המומס במים, התהליך מתרחש בעיקר בגוף המים. בתהליך זה, הנקרא גם "המשאבה הביולוגית" (Chisholm, 2000), יצרנים ראשוניים דוגמת אצות וחיידקים פוטוסינתטיים מבצעים פוטוסינתזה בה נצרך פד"ח מומס מהמים. חלק מהפחמן הנצרך נפלט חזרה בנשימתם של היצורים הפוטוסינתטיים וחלקו מקובע בגופם או נפלט מהם כחומר פחמני חלקיקי (Particulate Organic Carbon, POC), ששוקע ומרובד בקרקעית. כך מסולק הפד"ח המומס מהמערכת הימית, ו"מפנה מקום" לפד"ח אטמוספרי שמומס במי הים. בכך פוחת ריכוזו גז חממה זה באטמוספירה (Melaku Canu et al., 2015), מה שמביא לקליטת פד"ח אטמוספרי נוסף על ידי מי הים ולכן לירידה בריכוזו באטמוספירה, כך ששווי המשקל בין ריכוזיו באטמוספירה ובים נשמר. מכאן שאצירת הפחמן במערכת הימית, בביומסה החיה, בגוף המים ובקרקעית מווסתת וממתנת, גם אם בעקיפין, את ההתחממות הגלובלית ואת שינויי האקלים הגלובלי בעקבותיה. היות והאטמוספירה והים נמצאים בשיחלוף חומרים מתמיד, נודעת למערכת האקולוגית הימית בעלת השטח והנפח הגבוהים והאוכלוסיות הגדולות של המינים הרבים המבצעות בה את שרות הוויסות הזה, חשיבות גבוהה בלכידת פחמן, אצירתו וקבורתו. בנוסף לתהליך הפוטוסינתטי מקבע-הפד"ח המתרחש בגוף המים אליו חודר האור, במי העומק החשוכים יחסית ובעיקר בסמיכות לנביעות גז המתאן מקרקעית הים (ראה סעיף 2.2.4.2.2). מתבצע ייצור ראשוני באמצעות אנרגיה כימית, על ידי חיידקים כמוסינתטיים שהפחמן האורגני לכוד גם בגופיהם. אלא שגז המתאן בהיפלטו מהקרקעית למי הים עשוי להגיע משם לאטמוספירה בה הוא מתפקד כגז חממה חזק בהרבה מהפד"ח. אולם רכיב מגוון ביולוגי זה של החיידקים הכמוסינתטיים מונע את חדירת המתאן לאטמוספירה ובכך גם הוא תורם לשרות וויסות האקלים הגלובלי של המערכת. חיידקים אלה מפרקים את המתאן הנפלט מהקרקעית למצע הרך שעליה באמצעות חימצון אל-אווירני (אנאירובי) שלו. ואמנם נמצא שב-5 הס"מ העליונים של הסדימנט בקרקעית שנלקחה מהנביעות הקרות בעומק של כקילומטר מול עכו ומול פלמחים, מעל 90% מהמתאן המשתחרר מתת-הקרקע עשוי לעבור חמצון אל-אווירני בשכבת המשקע שמעל הקרקעית (Boetius & Knittel, 2009) וכך, למרות שהמתאן נובע מאתרים מסוימים של קרקעית המערכת, נביעות אלה אינן מעשירות את האטמוספירה בגז חממה פעיל זה.

2.4.2.3.3 ממדי הפקת השרות

ממדי האספקה של שרות וויסות האקלים הגלובלי על ידי המערכת הימית מתגברים בעונת החורף, כאשר שיטפונות החורף מסיעים למים העליונים סחף יבשתי של קרקעות עשירות בחומרי דשן, וסערות הים של החורף מערבלות את משקעי קרקעית הים המכילים חומרי דשן ומעלות אותם למים העליונים. העשרה עונתית זו של המים העליונים בחומרי דשן מגבירה את עוצמת התהליך האקולוגי התומך של הייצור הראשוני על ידי אצות המיקרו המרחפות (פיטופלנקטון) ובכך גדלים קצבי הקיבוע של

הפד"ח המסיס במי הים ואצירתו בתרכובות אורגניות מושקעות. בנוסף, הקיבוע ואצירת הפחמן על ידי המגוון הביולוגי הצמחי והחיידקי הימי המקטין את ריכוז הפד"ח המסיס במי הים, גם מקטין בכך את חומציות מי הים. מקורה של חומציות זו הוא התהליך בו הפד"ח המסיס הופך בחלקו לחומצה פחמנית. זו ממיסה את התוצרים הגירניים של רבים מיצורי הים כמו אצות גירניות, קשוות וקונכויות של רכיכות, ושלדים של אלמוגים ויצורים חד תאיים (חורריות), ואף פוגעת בתהליך יצירת השלד הגירני של יצורים אלה. פגיעה זו בפוטנציאל ההשקעה של שלדים גירניים של יצורי הים מקטינה את מאגר הפחמן הגירני האצור במערכת הימית, כך שבסופו של תהליך, ריכוז הפד"ח האטמוספרי עולה, ואפקט החממה מתגבר. אולם אצירת הפחמן על ידי המגוון הביולוגי הימי ממתנת את החמצת הים וזאת בנוסף למיתון אפקט החממה. מזרח הים התיכון הפך בשנים האחרונות ממבלע של פד"ח אטמוספרי למקור פליטה של פד"ח לאטמוספירה (Sisma-Ventura, 2017), ולמערכת האקולוגית הימית תפקיד במיתון הפליטה הזו.

מוערך שהמערכת האקולוגית של הים העמוק שבגבולות המים הכלכליים של ישראל אוצרת בין 2,000 ל-5,000 טון פחמן לחודש ששווים הכספי (בשנת 2015) הוערך כ- 7.7-38.2 מיליון ש"ח לשנה (Peled et al., 2016), ולפי הערכה אחרת (Melaku Canu et al., 2015) השווי הוא 2.7 מיליון אירו לשנה. כלל אזרחי ישראל והעולם כולו נהנים מוויסות האקלים הגלובלי שתועלתו הן מיתון שינויי האקלים הגלובליים, כולל גם התחממות הימים ועליית פני הים שבחובם טווח נרחב של נזקים לאדם, כולל גם לאדם בישראל. אך בהתייחס לממדיהם הקטנים יחסית של כל המערכות הימיות של ישראל, ממדי השירות המתבצע על ידי מערכות אלה קטנים בקנה המידה הגלובלי.

2.4.2.3.4 מגמות וגורמים מחוללי שינוי

אין בידנו מידע על ממדיו של השרות בעבר והכימות של ממדיו הנוכחיים הינו חלקי. עיקר המידע החסר הוא על התהליכים בקרקעית שקשריהם עם עמודת המים העליונים והאטמוספירה עלומים. כך גם לא ידועה השפעתם של גורמים מחוללי שינוי באספקת השירות. אלו כוללים את השפעת חומציות הים והתחממות הגלובלית (שהביאה לעליית טמפרטורת מי מזרח הים התיכון ב-0.1 מעלות לשנה בשלושה העשורים האחרונים, Gertman & Goldman, 2013) על התהליכים האקולוגיים התומכים באספקת שרות וויסות האקלים. הם כוללים גם את השפעת מזעור האספקה של חומרי הדשן (המזינים את היצורים הפוטוסינתטיים המעורבים בהפקת השרות) - על ידי נהרות ונחלים (וזאת בעקבות סכירת הנלוס במצרים ו"תפיסת" מקורות המים שהזינו את נחלי החוף של ישראל), ועל ידי השפכים הגולמיים עתירי חומרי דשן (שאספקתם הצטמצמה בעקבות צמצום החקלאות והטיפול בשפכים במתקני הטיהור השונים). אפשר גם צמצום אוכלוסיית אצות המאקרו הגדלות על שוניות החוף המיוחס לפלישת מיני דגים הרביבורים מהים האדום (Sala et al., 2011) מיתן את ממדי לכידת הפחמן ולכן את אספקת השרות באזור החוף ומדף היבשת. לסיכום, משום העדר מידע מספיק על ממדי אספקת השרות בעבר, ועל פעילות הגורמים שהיו עשויים לחולל שינוי באספקתו לא ניתן לזהות מגמה אלא להצביע, ורק בוודאות נמוכה, על העדר מגמה באספקת שרות זה.

2.4.3 שרותי אספקה

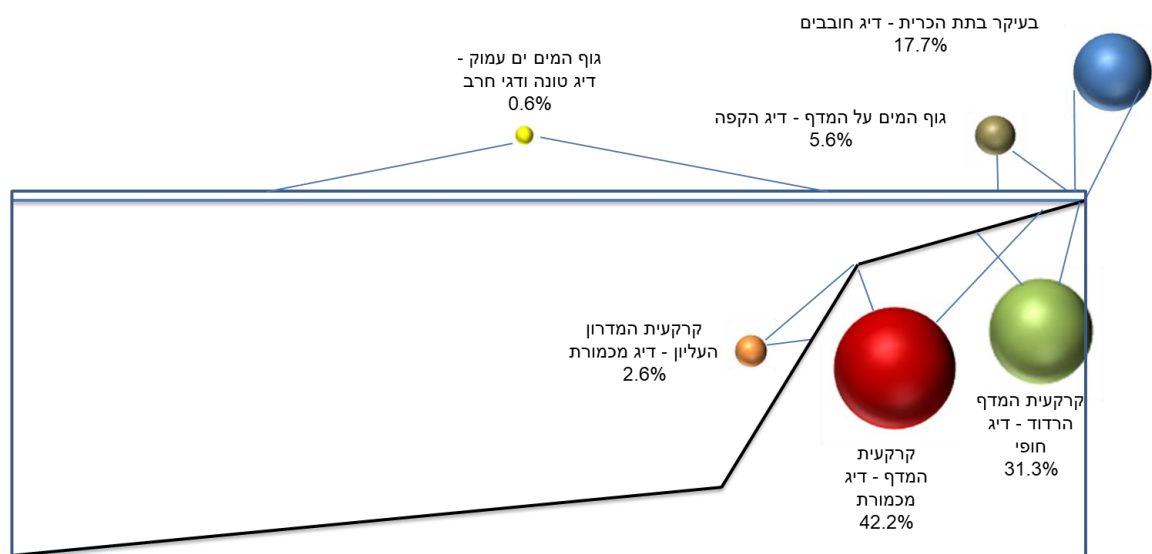
2.4.3.1 אספקת דגה (דגים וחסרי חוליות) מדיגי ימי

2.4.3.1.1 מהות ומנגנון השרות, והמגוון הביולוגי המעורב בהפקתו

בעוד ששרות האספקה הישירה של מזון לאדם על ידי המערכות היבשתיות הטבעיות של ישראל (צייד או לקט) מצומצם ביותר, ורובה המכריע של אספקת המזון לאדם בישראל מתבצעת על ידי מערכות חקלאיות באמצעות מגוון ביולוגי מבוית שאותו יש לגדל, לאסוף או לקצור, המערכת האקולוגית הימית מספקת מזון מהבר, שהם הרכיבים האכילים של מגוון ביולוגי טבעי

שהמערכת מגדלת ומתחזקת אך אותם יש ללכוד. רכיבים אלה, בעיקר דגים (כ-100 מינים שבמערכת) אך גם מינים מקבוצות הסרטנים (בעיקר חסילונים ("שרימפס") וסרטנים שייטים) ורכיכות (בעיקר מיני דיונונים ותמנונים), נקראים "דגה", ולכידתם נקראת "דיג". הם מאכלסים את כל מדף היבשת ומדרון היבשת העליון מהקרקעית עד פני המים (איור 9). היקרים והמבוקשים ביניהם הם דגי דקר, מולית, טונה, ספרוס, צנינית, ואחרים, וכן חסרי חוליות כחסילונים ודיונונים. בין המינים הזולים יותר והנפוצים ביותר במערכת נמצאים דגי מים עליונים רבים כסרדינים ומקרלים. מאחר ומרבית הדיג, ובעיקרו דיג המכמורת, מתבצע על מדף היבשת הרדוד (עומקים מתחת ל-100 מ') והמושפע ביותר מפלישת מינים זרים, כוללת הדגה גם מינים זרים-פולשים רבים בעלי ערך מסחרי גבוה (בעיקר חסילונים, מוליות, אופיריות, נימיים ופלמידות) המעורבים באספקת השירות. למשל, על הקרקעית הרכה של אזור מדף היבשת מצויים למעלה מ-150 מיני דגה, כמחציתם בעלי ערך מסחרי פוטנציאלי (Edelist, 2013). רובם מינים מקומיים. אך הבינומה והשכיחות של המינים הפולשים גבוהות יותר (איור 5), בעיקר בחלקו הרדוד של המדף: המינים הפולשים מהווים כ-80% מהפרטים בעומקים של 15-30 מ' וכמחצית מסך פרטי הדגים על המדף כולו עד לעומק 100 מ' (Edelist et al., 2013). אך בין אלה נכללים גם סרטנים, שדווקא לפולשים שביניהם ערך מסחרי גבוה מזה של הסרטנים המקומיים, ולאחרים אין ערך מסחרי כלל.

מנגנון הייצור, התחזוקה וההתחדשות של אוכלוסיות מיני הדגה מתבסס על התהליך האקולוגי התומך של היצרנות הראשונית, המספק את מזונם של מיני הדגה ההרביבורים (אוכלי צומח) ישירות ושל אלה הטורפים ואוכלי-כל, בעקיפין. וויסות גודלן של אוכלוסיות מיני הדגה נעשה על ידי התהליכים האקולוגיים התומכים של תחרות וטריפה (כאשר הדיג הוא אחד מרכיבי הטריפה). מכאן שלמנגנון הפקת שרות אספקה זה תלות ישירה במגוון ביולוגי ימי עשיר ביותר האחראי על תהליכים תומכים אלה.



איור 9: אספקת דגים בים התיכון בישראל למקורותיה על פי תת המערכת ושיטת הדיג בשנת 2019 על פי נתונים ממשרדהחקלאות (אדליסט, 2020).

2.4.3.1.2 תועלות השרות והמשתמשים בשרות

מלאי הדגה שהמערכת הימית הישראלית מתחזקת מאפשר לאזרחי ישראל לצרוך דגי ים טריים מייצור מקומי. התועלת הכלכלית של שרות זה היא בהיותו מקור פרנסה והכנסה לכאלף דייגים מסחריים, ולכמה מאות סוחרים דגים, מוכרים, מסעדנים ונהגים, בוני ומתחזקי סירות, מוכרי ציוד דיג, תופרי רשתות, אורזי ומנקי דגים. התועלת הבריאותית של השרות היא בספקו

מגוון דגים בריאים ומזינים עבור עשרות עד מאות אלפי צרכנים שמזון זה מונגש להם באמצעות שווקים ומרכזים, חנויות דגים ומסעדות. בנוסף, לשרות זה יש גם תועלת תרבותית של פנאי ונופש לעשרות אלפי דייגים חובבים (ראה סעיף שירותי תרבות). במהלך העשור הראשון של המאה ה-21 ייצר שרות אספקת הדגה של מערכת הים התיכון של ישראל כ-2,500 טון שלל מסחרי בשנה, בערך של כ-20 מיליון דולר לשנה (שפירו, 2008) ועוד כ-300-500 טון שלל חובבים. עם זאת, בסוף העשור השני ירדה הכמות של השלל המסחרי לכ-1,500 טון בלבד, בערך של כ-12 מיליון \$, בשל הרפורמה בדיג.

2.4.3.1.3 מגמות בממדי ההפקה וגורמים מחוללי שינוי

במהלך העשור הראשון של המדינה ממדי הפקת השרות הגיעו רק עד לכ-2,000 טון דגה לשנה, אך עד שנות ה-80 של המאה ה-20 הם גדלו לכ-5,000 טון בשנה, ולאחר מכן חלה ירידה עד לכמות לעיל (1,500 טון לשנה שלל מסחרי ועוד כ-300-500 טון בדיג החובבים) (איור 10). ניתן לזהות מספר גורמים מחוללי שינוי העשויים להשפיע על ממדי שרות אספקת הדגה והחשוב בהם הוא הדיג עצמו, המושפע מהקשר בין מאמץ הדיג (התלוי במספר הסירות הפועלות, סוג הציוד שלהן, והאזורים בהן הן פועלות) ושלל הדיג. במהלך שנות קיומה של המדינה חולל הדיג עצמו שינויים בשיעור ההיצע של שרות אספקת הדגה באמצעות שינוי שיעור הביקוש לשרות, המתבטא בממדי מאמץ הדיג וממדי השלל שמאמץ זה גורף. בתאוריה, עקומת תלות השלל במאמץ היא עקומת דבשת, היינו ככל שהמאמץ גדל גם השלל גדל עד לשלב שבו הוא מתמתן ואף נעשה שלילי בשל דיג יתר הפוגע בפוטנציאל ההתחדשות של האוכלוסיות (למשל פגיעה משמעותית בנקבות המתרבות). בהינתן קצב תמותה טבעית אחיד, קצב הרבייה של הדגים הבוגרים יחד עם קצב הגידול של הדגים עשוי לפצות, עד רמה מסוימת, על הפחת הנגרם על ידי הדיג. מעל לרמת שלל גבוהה הקרויה "שלל בר-קיימא מרבי", אוכלוסיית הדגה אינה מסוגלת להתחדש, בשל מחסור בדגים מתרבים או מחסור בדגיגים. לכן, מעל לרמת מאמץ המביאה ל"שלל בר-קיימא מרבי" לא רק שהשלל אינו עולה, אלא הוא קטן. דיג בנסיבות אלה הוא בבחינת ניצול-יתר של שרות אספקת דגה של המערכת הימית ומכונה "דיג-יתר", שכן הוא מתפקד אז כגורם שינוי שלילי באספקת השרות ופוגע בכושר ההתחדשות של רכיב המגוון הביולוגי המספק את השרות. דיג-יתר עלול להביא לקריסה מקומית של מיני דגה, כפי שקרה במקומות רבים בעולם. הימנעות מדיג-יתר תלויה לא רק בממדי המאמץ אלא גם בשיטות הדיג (למשל, סוג הרשת וגודל העין שלה, וכן עומק, עונת ושעת הפעילות) והשפעתן על גודל אוכלוסיות מיני הדגה והרכב הגילים של כל אחת מהן. זיהוי ושימוש בשיטות הדיג הרצויות והקצאות נאותות של מאמץ בכל שיטת דיג בזמן ובמרחב עשויים למנוע דיג-יתר.

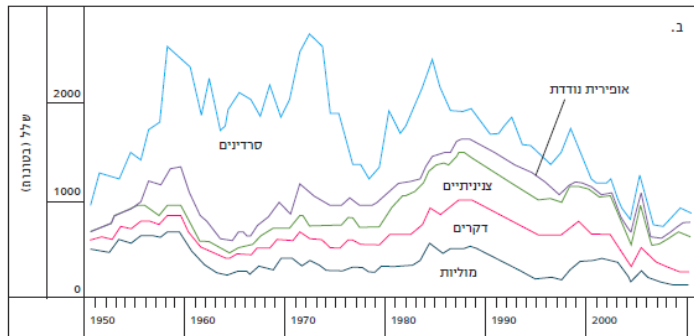
ואמנם, עליה בשלל במהלך 30-40 השנים שבין שנות ה-50 לשנות ה-80 של המאה ה-20 ולאחר מכן ירידה בשלל היא עקומת דבשת, מה שעשוי להעיד על דיג-יתר שהתפתח במהלך העשורים האחרונים. יתר על כן, המידע שבידנו על דיג המכמורת מראה גם על המשך עלייה עם הזמן בממדי המאמץ - השלל ליחידת מאמץ בשיטת דיג זו ירד מ-2.5 ק"ג דגים ליחידת מאמץ (כוח סוס מנוע ליום) בשנות החמישים לכ-1 ק"ג דגים ליחידת מאמץ בעשור הראשון של המאה ה-21 (אדליסט ורילוב, 2014).

תצפיות נוספות עשויות לתמוך בהשערה על מעורבות גורמים מחוללי שינוי נוספים באספקת השרות, כמו פחיתת חומרי הדשן בים בעקבות סכירת הנילוס, שכנראה הביאה לקריסת היצע הסרדינים ודגי המים העליונים, והתחרות בשווקים עם דגים מיובאים זולים יותר ייתכן וגרמה לירידה בביקושם. כך גם היעלמות דגי הבקלה שהו את מין הדג העיקרי בשלל המכמורת על הקרקעית אזור הים העמוק (ירידה מכ-100 טון לשנה בממוצע בין שנות ה-70 וה-90 של המאה ה-20, לכ-2 טון בשנה בלבד בעשורי המאה ה-21), כנראה שינוי שחולל אותו שילוב של התחממות מי הים העמוק, דיג מכמורת, ופלישת מינים זרים (Ben Yami & Glazer, 1974). גורמים אלה עשויים לחבור בסינרגיה לדיג כגורם מחולל שינוי, או לפעול להפחתתו. לדוגמא את הירידה במאמץ הדיג החופי שביטויה במספר סירות הדיג הפעילות במערכת שרק רבע עד שליש מהן פועלות בעשור הראשון של המאה ה-21 (שיינין וחוב, 2013) ניתן ליחס הן לעלייה בתשומות ובעיקר הדלק והן לדיג יתר. ולראייה- הירידה שנצפתה בגדלי אוכלוסיות עד כדי העלמות של מיני דגים גדולים, ביניהם טורפים, כמיני מוסרים ודקרים. מכאן שקיימת גם ירידה

בביקוש מוצרי השרות, שכן לא משתלם לצאת לים כשהסיכוי לשלל טוב הוא נמוך מאוד. לסיכום, מאסף של ממצאים נסיבתיים עשוי לרמוז על קיום דיג-יתר אשר לבדו או גם בשיתוף עם גורמים מחוללי שינוי אחרים הביא לירידה בהיצע ובביקוש לשרות שביטוי שניהם בירידת השלל במערכת במהלך העשורים האחרונים. אך לא קיימים עדיין הידע והנתונים הנדרשים לאפיון הקשר המדויק בין ממדי פעילות הדיג כגורם מחולל שינוי בממדי ההפקה של שרות אספקת הדגה, בעיקר משום שזו כוללת מגוון גבוה של מינים השונים זה מזה בתכונותיהם ובתגובותיהם לדיג, והנתונים לגורמים מחוללי שינוי נוספים כמינים זרים-פולשים והתחממות הים בשל שינוי האקלים הגלובלי. בנוסף, התחממות מי העומק הקרים יחסית גרמה כנראה לפחיתת דרמטית בשלל דגי העומק הזקוקים למים קרירים. פחיתת נצפתה גם בשלל מיני הבורי, אותה ניתן לייחס ללכידה של דגיגי הבורי בשפכי הנחלים והעברתם לגידול בחקלאות המים המתוקים או לאכלוס הכינרת (Edelist, 2013). הפלישה המסיבית של מינים זרים מהווה גורם מחולל שינוי ישיר לא רק בכמויות אלא גם באיכותו של שרות האספקה (ראה סעיף 2.3.1. פלישת מינים זרים), וזאת באמצעות תהליכים אקולוגיים כדחיקה תחרותית וטריפה על ידי המינים הפולשים (Edelist, 2013).

למרות שמעורבות תהליכים אלה לא נבחנה, ניתן להניח כי הדחיקה התחרותית הביאה במספר מקרים להחלפת מינים מקומיים בזרים, כאשר לעתים גם אלו וגם אלו הינם בעלי ערך מסחרי: הנימי הדו-ימי הפולש (*Nemipterus randalli*) שלו ערך מסחרי גבוה מאשר זה של מין הורדית המקומי (*Pagellus erythrinus*) שאותה כנראה דחק (Edelist et al., 2013). לעומת זאת לאופון זהוב הפס הפולש (*Upeneus moluccensis*) ערך מסחרי נמוך מאשר למולית האדומה המקומית (*Mullus barbatus*) שכנראה נדחקה על ידו (Golani, 1995).

בנוסף, מינים זרים פולשים מסוימים מפריעים לפעילות הדיג גם באופן ישיר, כגון מדוזות ומסרקניות, בעיקר מסרקנית לידי (*Mnemiopsis leidyi*), שהביאה כנראה לקריסת דיג המים העליונים בים השחור בתחילת שנות ה-90 ולאחר מכן פלשה גם למערכת הישראלית (Angel et al., 2016). המדוזות והמסרקניות סותמות את רשתות הדיג, וגם ה"אבו-נפחא" (*Lagocephalus spp.*) הפולש חותך במקורו את חוטי רשתות הדיג. הפסדים ישירים מנזקים שגרמה החוטית הנוודת (*Rhopilema nomadica*) לציוד דיג, פגיעה באיכות הדגים ואבדן ימי עבודה, הוערכו בכ-2 מליון ש"ח עבור דיג המכמורת וכ-1.388 מליון ש"ח בדיג רשתות עמידה, שהם כ-10% ו-42% פגיעה ברווחיות הדיג, בהתאמה (נקאר, 2011).



איור 10: הערכה של שלל הדיג הכולל שהוצא מהים התיכון בישראל מ-1950 עד 2010 לפי שיטות דיג (א) ולפי מינים עיקריים (ב) (מקור לנתונים: Edelist et al., 2013).

2.4.3.2 אספקת דגה מחקלאות ימית

2.4.3.2.1 מהות השרות, המנגנון, והמגוון הביולוגי המעורב בהפקה

כשם שחקלאות "יבשתית" מתבססת ברובה על תשתית המערכות היבשתיות שהיא קרקע "טבעית", ועל ממשק הגידולים הצמחיים שרובם צמחים מבויתים זה משכבר הימים ברחבי העולם, כך החקלאות הימית מתבססת על תשתית המערכת הימית שהיא גוף המים, אך על ממשק של גידולים שביתו לראשונה בישראל. המין היחידי המגודל במתקני החקלאות הימית שבמערכת בכמויות מסחריות הוא הספרוס הזהוב (*Sparus aurata*), המכונה דניס. דגי דניס הבר נדירים יחסית במערכת הישראלית כיום, אך אוכלוסיות בר של מין זה היוו את המשאב הגנטי שפותח למין מבוית עליו בנויה החקלאות הימית בישראל. פרקטיקת הגידול מבוססת על תהליך הרבייה במין זה המאפשרת ייצור דגיגים במכונה רבייה עד לגודל המתאים לאכלוס הכלובים (כ-20 גרם). המשך גידולם לממדים מסחריים מתבצע בכלובי הרשת שבמערכת, תוך אספקת מזון (כופתות של קמח דגים מיובא הן התשומה העיקרית בענף) והגנה מטורפים. בעוד שכמעט כל המערכת הימית הטבעית מקיימת שרותי אספקת מזון לאדם מדגה, יחידות שטח ונפח קטנות מאד של המערכת מתפקדות כמערכות חקלאיות (איילון וחוב', 2015), שבהן מוגבר באופן קיצוני שרות אספקת המזון מהים (דגה) ע"י החדרת תשומות לכלובים.

הכלוב מכיל אוכלוסייה גדולה מאד של דגים ליחידת נפח של מים, המתפתחת מהכנסת דגיגים, שגידולם מואץ על ידי אספקת מזון, בכמויות שהן הרבה מעבר לאלה שנפח הכלוב לבדו יכול לספק באופן טבעי. כך דגי הדניס גדלים היטב כיום בכלובים בים הפתוח מול חופי אשדוד (12 ק"מ מהחוף) ומכמורת (3 ק"מ מהחוף) וגם בתוך הנמל באשדוד. הגידול האינטנסיבי מתאפשר בשל החשיפה המתמדת למי ים מתחלפים שבכלוב הטבול בים, המייצרת סביבת גידול רווית חמצן בכלוב ומוהלת מזהמים שמקורם בעודפי המזון וצואת הדגים. בנוסף, רכיבי המגוון הביולוגי הימי המתחזקים בסביבת הכלובים כמו המגוון

המיקרוביולוגי ויצורים ניזוני פטופלנקטון שבקרקעית ובגוף המים מספקים את שרות ויסות איכות מי הים (פרוק החומר האורגני הרב היוצא מהכלובים) ובכך תורמים למיתון תדירות ונזקים ממחלות וטפילים ולוויסות פריחת אצות רעילות.

2.4.3.2.2. ממדי הפקת השרות, תועלות ותרומתן לרווחת האדם, ומשתמשים

לשרות זה של אספקת דגים מקומית וצריכתם תועלות כלכליות (כמקור תעסוקה ורווח), בריאותיות (אכילת דגים בריאים, טעימים ומזינים) ותרבותיות (בתחום המחקר והפיתוח, לדוגמה נעשים מחקרים בישראל לביות דגי הבורי, הלוקוס הלבן והטונה הכחולה). צריכת הדגים בישראל עלתה בהדרגה משנות החמישים מכ-5 ק"ג לשנה לנפש עד לכ-20.3 ק"ג לשנה לנפש ב-2011 (איילון וחוב', 2015), אך רק אחוזים בודדים מאספקה זו מקורם בדיג ימי במערכת הים התיכון הישראלית או בחקלאות הימית של ישראל (כ-2% כ"א). אזרחי ישראל צורכים כ-5,000 טונות בשנה של דגי דניס, כאשר הדניס מהווה רק 3% מהצריכה השנתית לנפש, והחקלאות הימית המקומית מספקת כמחצית מביקוש זה (איילון וחוב' 2015). כ-100 חקלאים ובמעגל השני כמה מאות יצרני ויבואני ציוד, נהגים, מסעדנים, מתדלקים, סוחרים, מוכרים, ממינים, מנקים ומעבדי דגים מתפרנסים מחקלאות ימית בישראל, ועשרות עד מאות אלפי צרכנים נהנים מאכילת הדגים. היצע שרות אספקת דגי הדניס של החקלאות הימית מספק עד למעלה ממחצית מביקוש הדניס בישראל, והשאר מיובא ממערכות ימיות של מדינות ים תיכוניות אחרות.

2.4.3.2.3. מגמות וגורמים מחוללי שינוי

תחילתו של גידול הדניס בכלובים הייתה בשנות ה-90 של המאה ה-20 בראש מפרץ אילת, אך ביוני 2008 הוצאו הכלובים האחרונים, וב-2009 כבר סיפקו חוות החקלאות הימית באשדוד כ-1,000 טון דגים. מספר זה טיפס עד לכ-2,500 טון ב-2013 (מוזס, 2014) ועד כ-4,000 טון ב-2014, אם כי סערות חורף בתחילת 2015 זרעו הרס בחוות כלובי הדגים ופגעו בשלל השנתי (איילון וחוב', 2015). עיקר השינויים בענף מונעים על ידי גורמים מחוללי שינוי עקיפים - גיאופוליטיים, כלכליים, טכנולוגיים ועוד, ואילו גורמים ישירים העלולים לפגוע באספקת השרות כוללים בעיקר מחסור בחמצן במי הנמל (מה שמשפיע רק על הכלובים שבתוך נמל אשדוד ולא על אלו שבים הפתוח), בין השאר בשל העמסה אורגנית עקב פעילות החוות עצמן (שגיא וחוב', 2013). כך גם פריחת אצות ומדוזות עלולות לגרום נזק לחוות ואף לתמותת דגים. אמנם כמעט שלא תועדו בשנים האחרונות פריחת אצות רעילות בים התיכון (בין השאר בשל שרות ויסות איכות המים של המערכת הימית), אך שינויים במגוון המיקרוביאלי החבורים לשינויים בהרכב המגוון הביולוגי הכולל של המערכת (הופעת מינים פולשים ופחיתה באוכלוסיות המינים המקומיים) עשויים לגרום להופעת מחלות וטפילים בדגים. כמו כן ניכרת עלייה בכמויות המדוזות והמסרקניות במזרח הים התיכון (Angel et al., 2014), שסותמות את רשתות הכלובים ולכן מקטינות את זרימת המים בהם, מה שפוגע בשרות אספקת הדגה של המערכת החקלאית הזו. מעט מידע קיים לגבי ויסות מזהמים סביב כלובי הדגים ובתכניות הניטור לא נמצאו מזהמים שהשפיעו בצורה משמעותית על גידול הדגים או על איכותם וערכם (שגיא וחוב', 2013).

2.4.4. שרותי תרבות

2.4.4.1. התנסות אקטיבית שתועלתיה פיזיות: תיירות, פנאי וספורט

2.4.4.1.1. מהות השרות, מנגנון השרות, והמגוון הביולוגי המעורב בהפקתו

חופי הים התיכון של ישראל מהווים, בעיקר בקיץ, מוקד לביקורים של מיליוני ישראלים ומאות אלפי תיירים, העוברים התנסויות אקטיביות מגוונות עם הים וחופיו שהם חווים באמצעות מגוון רחב של פעילויות: צפייה בים מבתי קפה ומלונות, התבוננות בים תוך ישיבה והליכה בטיילת או על חולות החוף, פעילות גופנית בחוף עצמו החל מריצה והשתזפות ("בטן-גב") על חולות החוף, דרך הליכה, ריצה או התעמלות, ודיג חכות תוך עמידה על רציפים, שוברי גלים, סלעי החוף ושולי טבלאות

הגידוד. פעילויות רבות נעשות גם בגוף המים - טבילה ורחצה בים, שחיה בים להנאה או כפעילות גופנית, ציפה על פני המים עם מסיכה ושנורקל וצלילה לשם צפייה בנוף התת-ימי או לצורך דיג חובבני, וגם צפייה וצילום של ציפורי הים והחוף. וגם פעילויות על פני המים הדורשות עזרים – ספורט ימי חובבני ומקצועי המתבצע באמצעות גלשנים, מפרשיות וכלי שיט אחרים. לאלה אפשר להוסיף גם את תיירות הנופש הימי באמצעות ספינות המפליגות ללב ים וצפייה בבעלי חיים ימיים (בעיקר "מיני דגל" - יונקי וצבי ים ודגים גדולים) הנקרים בדרך.

שאלה פתוחה היא עד כמה הים וחופיו מתפקדים כמערכת אקולוגית, התומכת או תורמת באמצעות המגוון הביולוגי שלה בספקטרום הרחב של פעילויות פיזיות אלה שלכולן תועלות התרומות לבריאות הפיזית ואף הנפשית של המבקרים (Frost et al., 2011), ועד כמה המשתמשים בחופים מודעים לתמיכה/תרומה זו באם היא קיימת. זאת לבד מחובשי מסכות הצלילה, הצוללנים ודייגי החכות ואולי אף המפליגים המייחלים לצפייה במיני דגל ימיים, שכן תרומת המערכת האקולוגית הימית והמגוון הביולוגי שלה לפעילויותיהם בים אינה זקוקה לראיות. יחד עם זאת, ניתוח של כ-80 מחקרים מרחבי העולם לצורך הערכת התועלת הכלכלית של הנופש החופי העלה כי תרומת המגוון הביולוגי לערכו של הנופש החופי ליחידת שטח של חוף קטנה בהשוואה לזו של כעשרה גורמים אחרים, וזאת גם כאשר נמצא כי תרומת המגוון הביולוגי הימי גדלה עם העושר שלו (Nunes & Ghermandi, 2013).

אשר לנוף הימי, גם כאן לא ניתן לזהות בברור תרומה של התהליכים האקולוגיים המתרחשים במערכת הימית להנאה שהוא מספק, למעט תרומת טבלאות הגידוד לנוף החופי, שהן תוצר של תהליכים אקולוגיים ומגוון ביולוגי ספציפי (ראה סעיף 2.2.1.2.1). אך אלה מוצבות אל מול 33.4 קילומטרים המהווים רק כ-17% מאורכו של החוף הישראלי. לעומת זאת אפשר שהמפגש האקראי עם רכיבים של המגוון הביולוגי הימי שהם "מיני דגל" עשוי להעצים את החוויות של המבקרים והמשתמשים בים ובחופיו ואף להגביר את תדירות ומשך הביקור והשימוש בים ובחופיו (Luck, 2003). אלא שהמערכת הימית שבתחומי ישראל אינה עשירה במיני דגל ואינה יכולה לתמוך בתיירות המבוססת על צפייה בהם. לדוגמה - דולפינן מצוי נצפה 1.13 פעמים ל-100 ק"מ (ממוצע של 579 סקרים) של הפלגה, ערך נמוך לכשעצמו, מה עוד שהוא כמחצית מהערך שנדגם בחופי לבנון (Kerem et al., 2014). לעומת זאת הסיכוי למפגש עם צב ים גדול יותר – 116 קינים פעילים של צב הים החום נצפו בחופי ישראל בעונת הרבייה של 2011 ובמהלך אותה שנה נלכדו כ-3,000 צבי ים בוגרים ברשתות דייגים (Levy et al., 2015), מה שמעיד על אוכלוסייה בת מאות רבות של פרטים מכל קבוצות הגיל, שעשרות מפגשים עם פרטים בודדים ממנה מתועדים כל שנה ברשתות החברתיות.

2.4.4.1.2 ממדי אספקת השרות, תועלות ומשתמשים

הביקור בים על כל צורתיו מספק לא רק את התועלות התרבותיות והבריאותיות של הפעילויות השונות, אלא גם תועלות כלכליות (תעסוקה ורווח) עבור מפעילי התיירות החופית והימית, יבואני, יצרני משכירי ומוכרי ציוד דיג, קיט ועוד. שווי התועלות מהביקורים בחופי ישראל הוערך ב-68.8 מיליון אירו לשנה (Ghermandi et al., 2015); אך קשה להעריך את מספר המשתמשים בשרות התרבות של המערכת האקולוגית הימית ממנו הם מפיקים את ההתנסות האקטיבית עם המגוון הביולוגי הימי ותועלותיה הפיזיות: מספר הדייגים החובבים הוערך בכ-70,000 (רוטשילד וחוב', 2013), שהופכים את הדיג לשיירות תרבות אף יותר מאשר שירות אספקה; מתוך מאות אלפי בעלי רישיון צלילה בסיוע אויר דחוס כחמישים אלף הם צוללים פעילים, שעור שהוא מהגבוהים בעולם (Davidson, 2007), אך אין אומדן למספרם של אלה הנהנים משחיה עם מסכות צלילה. לעומת אלה, מוערך המספר הכולל של ביקורים בים ובחופיו בשנה בכ-55 מיליון ביקורים בשנה (Ghermandi et al., 2015). בנוסף לאלה, מספר בעלי רישיונות המשיט הוא כ-80,000 ומספר כלי השיט הקטנים הוא מעל 19,000 (רספ"ן, 2014). מכל אלה עולה שמספר הנהנים מהתועלות התרבותיות הנובעות משרותי המערכת האקולוגית (דייגים, צוללים וכו') כנראה קטן יחסית מתוך כלל המשתמשים בים, כלומר שחלק גדול מאלה המשתמשים בים וחופיו אינם משתמשים בהכרח

בשרותי התרבות של המערכת האקולוגית שלו. בשל מיעוט הנתונים הנדרשים לצורך ניתוח מדויק, לא ניתן לחלק באופן ברור את חלקם של המגוון הביולוגי ושרותי התרבות של המערכת האקולוגית הימית מתוך הנתונים המובאים להלן על תרומת התועלות לרכיבי רווחת האדם, על מספרי הנהנים מתועלות אלה, על המגמות בהפקת התועלות ועל הגורמים שחוללו אותן.

2.4.4.1.3 מגמות וגורמים מחוללי שינוי

נראה כי מספר המבקרים בים נמצא במגמת עלייה: מספר הביקורים השנתי בחופי הים התיכון הוערך ב-1997 בכ-13 מיליון ביקורים בלבד (צנובר, 1999; לא כולל 18 מיליון ביקורים נוספים לעורף החוף העירוני) שהם 24-29 מאומדני ממספריהם ב-2014. כך גם מספרי כלי השיט ורישיונות המשיט ב-2001 שהם קטנים ב-49% ו-52% ממספריהם ב-2014, בהתאמה. חלק ניכר מעלייה זו במספר המבקרים תופסים הצוללים החופשיים, השחיינים, הגולשים והשייטים, גידול מספרי שמקורו בעיקר בגידול במספר מועדוני הגלישה, בקידום החינוך הימי הניתן לעשרות אלפי תלמידים במקצועות הספורט הימי והשיט בבתי הספר הימיים, ואולי הוא חב גם ליוקרה שהביאה הצלחתם המרשימה של ספורטאי הים הישראליים בתחרויות בינלאומיות.

הגורמים המחוללים את מגמת הגידול במספרי המבקרים בים הם גידול האוכלוסייה ובעיקר העלייה ברמת החיים, שני תהליכים שהתפתחו יד ביד מאז הקמת המדינה. כך גם סביר שממדי הביקורים בחוף הוגברו בגין הפיתוח החופי והימי עצמו, שלעתים מכוון תיירות כמו טיילת, מרינה, הגנה חופית על ידי שוברי גלים, שיפור באיכות המים בגין הפעלת טכנולוגיות ואכיפת תקנות למניעת זיהום הים, ופעולות ניקוי החופים מזפת. אפשר גם שמגמת העלייה בביקורים בים וחופיו כוללת את גידול אותו רכיב של מבקרים המפיקים תועלות משרותי התרבות של המערכת האקולוגית של הים, גידול המשקף עלייה במודעות למגוון הביולוגי התת-ימי שזוהתה לאחרונה בצבור הישראלי (שיינין וחוב, 2013) ואשר מוגברת מעצם הצלילה, השיט והשחייה בים, וגם על ידי חשיפת המגוון הביולוגי הימי באמצעות סרטים באינטרנט ופעילות קבוצות ייעודיות ברשתות החברתיות. גם מגמת הגידול באפשרויות הצפייה במיני דגל העולה בעשורי המאה ה-21 עשויה לתרום להגברת המודעות למגוון הביולוגי הימי שמתבטאת במספר אותם המבקרים המפיקים תועלות משרותי התרבות המסופקים על ידי המערכת האקולוגית הימית. דוגמא מובהקת לכך היא השילוב בין עלייה במספר נקבות צבי הים המטילות בחופי ישראל (מ-11 נקבות בשנת 1993 ל-116 בשנת 2011) בעיקר הודות לפעילות שמירת הטבע של המרכז להצלת צבי ים של רט"ג; הפעילויות החברתיות של רט"ג המאפשרות בשנים האחרונות צפייה מבוקרת בבקיעת הקנים, ובנוסף החשיפה לנושאים אלו במדיה.

למרות המגמה החיובית שנצפתה במספר המשתמשים בחופי הים, ניתן לזהות גם גורמים מחוללי שינוי שעשויים למתן מגמה זו. החשוב שבמחוללי שינוי שלילי באספקת התועלות התרבותיות גם למשתמשים בשרות התרבות של הים כמערכת אקולוגית וגם למסה העיקרית של המבקרים הם מיני מדוזות ובעיקר החוטית הנודדת שפלושו לים התיכון הישראלי החל משנות ה-80. מדוזה זו מגיעה למערכת בנחילים בהם עשרות מיליוני מדוזות (Deidun et al., 2011). שפגיעתן בצריבה ממגע ואף שלא ממגע ישיר ועצם הימצאותן בים פוגעים במוטיבציה של רבים לבקר בים ובחופיו ביחוד בקיץ, בשיא עונת הרחצה והפריחה של המדוזות. בסקר שכלל 160 ראיונות בחופי תל אביב נמצא כי 26% מהנשאלים נכוו בעבר ממדוזות וכי הופעת נחיל בקיץ גורמת לירידה של 3-10% במספר הביקורים בחוף וכתוצאה מכך לבזק שנתי שהוערך ב-1.8-6.2 מיליון אירו (Ghermandi et al., 2015). כמו כן נמצא כי המדוזות מרתיעות תיירים מחו"ל מלבקר בחופי המערכת יותר מאשר את המבקרים המקומיים. גם מיני דגים פולשים רעילים כשפמית הארסית *Plotosus lineatus* (Edelist et al., 2012) שפגיעת הקוצים הרעילים שלו קשה עשויים להרתיע צוללנים. גורמים מחוללי שינוי נוספים שהשפעותיהם השליליות על שרות התרבות אפשריות, אך הם לא נבחנו כוללים דיג-יתר ושיטות דיג הפוגעות בבתי גידול בקרקעית הסלעית, ירידה בכמות הדגים הגדולים המהווים אטרקציה לצוללים ומשנרקלים, פסולת מוצקה ומזהמים אחרים, והעתרה בחומרי דשן העשויה לגרום לפריחת אצות; ככולם מדובר במפגע שעיקרו אסתטי בהקשר לשרות התרבות. בנוסף, הקמתם והפעלתם של מתקני חוף וים, ובעיקר אלה שהם תשתיות לחיפוש והפקה של גז ונפט, עלולים להוות גורם מחולל שינוי בשרותי התרבות (ראה סעיפים 2.3.6.2 ו-2.3.6.3).

2.4.4.2 התנסות פסיבית שתועלתיה מופשטות - הנאה מנופים, השראה (רוחנית, דתית, יצירתית),

תרבותית), זהות, מורשת ותחושת שייכות למקום

2.4.4.2.1 מהות השרות ומנגנון הפקתו משתמשים, תועלות ותרומתן לרווחת האדם

התנסויות ויזואליות ורוחניות של אנשים עם מערכות אקולוגיות, נופים ימיים והמגוון הביולוגי המרכיב אותם, תורמות לתחושות הזהות של תושבים עם המקום בו הם נמצאים: תצפיות חוזרות ונשנות במערכת אקולוגית שתכונותיה הנראות נשמרות לאורך זמן כמו המערכת הימית מקנות תחושת בית לאדם בים או לחופו. יצירת חוויות חיוביות עם המערכת האקולוגית הימית בנקודות מסוימות בים ובחוף עשויה לתרום לצרוף יצורים ימיים, נופי הים וחופיו לחלק מן המורשת, הזהות ותחושת השייכות הישראלית. בשנותיה הראשונות של הציונות ומדינת ישראל, לאוכלוסייה היהודית, שרובה הגיעה מן המהפוצות, לא היה קשר רב עם הים בשל העדר קשר כזה בארצות המקור. עם זאת, הקשר לים הלך והתחזק בהדרגה עם עליית היהודים לארץ, שלה חוף ים ארוך ביחס לשטחה, ורוב אוכלוסייתה שוכנת לחופים. אמנם אין תיעוד על התרומה הספציפית של מערכת הים התיכון של ישראל והמגוון הביולוגי שלה לייצור תחושת שייכות למקום אצל תושבי ישראל, אך סביר שככל שהמגוון הביולוגי הימי גבוה, אסתטי או ייחודי לחופי הארץ, הוא עשוי לשפר את תחושת השייכות למקום של המבקרים במערכת הימית. רכיבי המערכת הימית העיקריים באספקת שרות זה עשויים להיות טבלאות הגידוד שהן אופייניות לחופי הארץ הסלעיים וכמותן לא קיימים בחופים של רוב הימים והאוקיינוסים. כך גם עושר ומגוון מיני הדגים שניתן לראותם באזורי המערכת השונים ואף הצפייה במינים מיני דגל של עופות ים, צבי ים, ואפילו יונקים ימיים כליווייתנים ודולפינים שגם אם הם נדירים ביותר הם מוצאים את דרכם אל לב הציבור כחלק מהמורשת הימית דרך התיעוד המצולם של ארגון מחמל"י של שייטים שונים.

2.4.4.2.2 תועלות ותרומתן לרווחת האדם

המערכת הימית תורמת להנאה אסתטית, רוחנית ונפשית המופקת אצל המבקרים בה ובחופיה. שרות זה מוצע על ידי המערכת האקולוגית הימית לכלל אזרחי ישראל המגיעים לחופים, גם אם לא קיים המידע על שעור המשתמשים בשרות זה מכלל המבקרים בים. במילים אחרות, לא נבדק חלקה של ההנאה האסתטית מהתבוננות במערכת האקולוגית הזו על חופיה ונופיה בגידול המתמיד של אוכלוסיות הנופשים בים והמתגוררים לחופיו, וזאת אולי משום שממדי ההנאה האסתטית הם אינדיבידואליים ובלתי מדידים. בשנים האחרונות הטכנולוגיה, דרך צילום תת ימי, תקשורת ההמונים ולאחרונה הרשתות החברתיות מביאים את המערכת האקולוגית הימית גם באופן אמצעי למסך, לתודעה, ולליבותיהם של אזרחי ישראל ומהווה זירה חדשה ומלהיבה לביטוי אומנותי שנסמך על המגוון הביולוגי הימי. לדוגמא, ניתן להביא את עשרות הפורומים וקבוצות פייסבוק העוסקים בנושאי הסביבה הימית וחברים בהם כיום עשרות אלפי ישראלים. המידע האינטרנטי אולי יוכל לשמש גם בעתיד לבצע הערכות אלו של השירות.

2.4.4.2.3 מגמות וגורמים מחוללי שינוי

החל משנות ה-30 של המאה הקודמת התבססה בישראל המגמה של הקמת יישובים סמוך לחוף הים. דרך העיסוק בים, באים לידי ביטוי אלמנטים הן רוחניים דתיים (לדוגמת מצוות תשליך של חג הסוכות) והן חילוניים (כמו ההליכה לים בשבת תחת הביקור בבית הכנסת, וראיית הבילוי בים כמסר חילוני של תקווה וחופש של "המהפכה הציונית": Azaryahu, 2008). הסמלה מהים בולטת בפעילות הציבורית של אליעזר בן יהודה ובמילים העבריות שהמציא (זימים, ימיה ואחרות), בן גוריון (שסיכם עבודת מחקר שלו במלים: "ארצנו שוכנת על שני ימים, הים התיכון במערב וים סוף בדרום, ואף פעם לא הגיעו אבותינו הקדמונים ששני הימים יהיו בידיהם") ואחרים (עפרת, 1990).

המערכת הימית של ישראל מספקת גם השראה, וזו מתגלה למשל בבחינת מקום הים באמנות הישראלית. עד שנות השלושים, היווה הים התיכון חלק מרכזי בציור הארץ הישראלי, ואילו משנות ה-40 ועד שנות ה-80 הפנו הציירים את גבם אליו, וזאת

בניגוד לגישתם לכנרת ולים המלח (עפרת, 1990). בדומה לכך, בשירה הישראלית החדשה, הים כמקור של דימויים היה נדיר למדי עד לעשורים האחרונים (עפרת, 1990). הסברים שהוצעו להתעלמות מהים בתקופה זו כוללים את הטענה לריחוק היהודים מהים מאז ומעולם וכי "תת-ההכרה הקולקטיבית הישראלית אינה טובלת בים", אך אין בכך כבדי להסביר מדוע הים התיכון החל את החזרה ליצירה ולאומנות הישראלית בשנות ה-80. ייתכן כי התחלת פיתוח החופים והים כמרכז בילוי, נופש ותרבות בתקופה זו תרמה לכך (עפרת, 1990).

במאה ה-21 ישראל מפנה את פניה יותר ויותר אל הים. בתל-אביב, שתוכננה ונבנתה "עם הגב לים", משמע רחובותיה המרכזיים נבנו במקביל לים וללא התחשבות במרחב החוף (Schlör, 2009), בחיפה, בה נותק החוף מהעיר על ידי תשתיות, ובכלל ערי החוף, ניכר בעשורים האחרונים פיתוח רב של אזורי החוף והטיילת, ההופך את הים למוקד פעילות תרבותי חשוב. על כך מעידה גם העלייה במחירי הנדל"ן החופי בישראל: ערך הנדל"ן החופי תרם 62% מסך התועלות בשירותי המערכת הישראלית, לעומת 42% מהתועלות בכלל הים התיכון בהערכת UNEP (Mangos et al., 2010). במחקרים מצפון אירופה (Tyrvaäinen & Miettinen, 2000) נמצא כי בעוד תרומת "נוף כחול" (נוף ים הנשקף מן החלון) עשויה להגיע עד ל-59% מערך הדירה, תרומת "נוף ירוק" צנועה יותר, והיקפה מגיע ל-3%-10% מערך הדירה בלבד. בישראל ניכרה מגמה דומה, בה דירות עם נוף לים נמצאו כיקרות יותר ב-17.7%-47.7% במגדלים בת"א, ב-26% בנתניה, ובין 5.7%-10.5% בשאר ערי החוף (אודיש ופליישמן, 2006). מערכת אקולוגית שמאפייניה נשמרים ולה מגוון ביולוגי אטרקטיבי משחקת ללא ספק תפקיד במיתוג אזור מגורים חופי כאיכותי, אך חלקה באספקת התועלות האלו לא ידוע. כמדינה צעירה, חלוף הזמן עצמו עודו משמעותי ביצירת תחושת שייכות, מורשת וזהות, ולכן ניתן לצפות שמדי השימוש בשרותי תרבות אלה נמצאים בעליה, גם אם המידע על כך עדין לא קיים.

הגורמים מחוללי השינוי השלילי באספקת שרותי תרבות אלה כוללים את העלייה במפלס פני הים שעלולה לגרוע מהנוף העל-ימי עם הצפת טבלאות הגידוד, בעוד שהפגיעה בנוף התת ימי ובעיקר המגוון הביולוגי התת-ימי נגרמת על ידי זיהום בשפכים ובאשפה מוצקה, דיג שעשוי להיות דיג-יתר, ודיג המתבצע על ידי גרירת רשתות דיג על פני הקרקעית הפוגעת בבתי הגידול של מינים רבים. גורם מחולל שינוי באספקת תחושת מקום, הגאה מנופים והשראה הוא הפלישה וההתבססות של מינים זרים. יש מהם שפוגעים ברכיבים של המגוון הביולוגי, כמו הסיכונים הניזונים ומסלקים אוכלוסיות של מקרו-אצות המשמשות בית גידול למינים רבים המעורבים ביצירת הנוף התת-ימי. אמנם, מינים פולשים מסוימים עשויים אפילו להפוך למיני דגל, אך יש להם השפעה שלילית על שרות תחושת המקום, שכן הופעתם מקשה על פיתוח תחושת זהות עם טבע שמשנתנה במהירות כה רבה. גורם מחולל שינוי נוסף, בו מעורבים גם מינים פולשים, הם נחילי המדוזות שכאמור מפחיתים משמעותית, בכ 3.5%-10, את כמות הביקורים בחופים (Ghermandi et al., 2015), ובכך גם את תרומת המערכת הימית בהשראה יצירתית ותרבותית, ביצירת זהות ובתחושת שייכות למקום.

2.4.4.3 התנסות אקטיבית שתועלתיה אינטלקטואליות: מחקר וחינוך

2.4.4.3.1 מהות השרות ומנגנון הפקתו

המגוון הביולוגי של המערכת הימית, על שלל האינטראקציות שלו עם האדם והסביבה, מספק כר מחקר פורה להבנת תפקודן של המערכות האקולוגיות באספקת שירותים ותועלותיהם לאדם. פירות המחקר והידע הנצבר אמורים בין היתר לשמש לקירוב תלמידים, אזרחים ומנהלים למערכות טבעיות אלה על המגוון הביולוגי שלהן, לחינוכם לשמירה עליו, להערכת חשיבותו הכלכלית, הבריאותית והתרבותית של מגוון ביולוגי זה, ושרותיו התורמים לקיימותו של הפיתוח.

מחקר המערכת הימית עשוי להתבצע בהפלגות מחקר ייעודיות, כולל לים העמוק, שעלותן גבוהה ושעשרות מדענים מעורבים בהן, במעבדה בנייתוח דגימות, בצלילה בשונית על רכס כורכר או בדגימות במים הרדודים עם מסיכה ושנורקל – כל אחד מאלו

אמור להניב תזות, דוחות ופרסומים מדעיים ולהעשיר את הידע האנושי. מפגש הינוכי ישיר עם המגוון הביולוגי הימי עשוי לכלול סיור והרצאה בשטח (נפוץ מאוד) ומגע בלתי אמצעי עם הטבע הימי ואף דגימת בעלי חיים או צמחים לניסויים בעלי ערך הינוכי. כמו כן מתבצעות גם הפלגות מחקר אך אלו נדירות יחסית. יציאה של נוער לחוף הים בישראל קשורה בדרך כלל יותר בהיצע של החוף לפעילויות פנאי וספורט ימי (למשל שיעורי גלישת גלים – הספורט הימי הפופולרי ביותר בקרב הנוער הישראלי בעשור השני של המאה ה-21) ופחות בהיצע של החוף כמערכת האקולוגית ושרותיה. עם זאת, קיימות כיום מספר תכניות חינוך שמתבססות על סיורים ודיגומים בחוף החולי והסלעי של המערכת הישראלית. התלמידים לומדים בהן להכיר את המגוון הביולוגי של המים הרדודים בסביבתם כמו אצות, חסרי חוליות, דגים ועוד. כמובן שמיני הדגל מככבים בפעילויות הינוכיות, לדוגמה – במרכז להצלת צבי ים במכמורת בוצעו בשנת 2013 ימי הדרכה לכ-16,600 מבקרים. מידע רב, הינוכי ומדעי כאחד, נפוץ היום דרך האינטרנט וברשתות החברתיות ותורם להעשרת והעמקת ההבנה שלנו לגבי המערכת האקולוגית הימית.

אין כמעט קבוצה טקסונומית גדולה במערכת הימית, יונקים ימיים, צבי ים, דגים, אצטלנים, ספוגים, מדוזות, אלמוגים, אצות ואף חיידקים שלא זוכה למחקר מדעי בישראל היום. אמנם יש מחסור בטקסונומים בקבוצות רבות (למשל תולעים וקוצי-עור), אך דומה כי מחקר גנטי מולקולרי עשוי לפצות על כך במידת מה, והוא גם פותח צוהר לעולם שלם נוסף של חקר. יחד עם זאת, ממדי המחקר המדעי של הים התיכון כמערכת אקולוגית (כמו מספרי הפרסומים המדעיים) והשפעתה על המדע הגלובלי עדיין לא נבדקו.

2.4.4.3.2 תועלות ותרומתן לרווחת האדם, ומשתמשים

לחינוך הימי תועלת תרבותית חברתית דרך טיפוח עניין ומודעות בקרב ילדי ישראל למגוון הביולוגי הימי ולשירותי המערכת שבאספקתם הוא מעורב, שירותים המסבירים בין היתר את הצורך בשמירה עליו, ובכך מקודמת שמירה זו. החינוך הימי עשוי להעשיר את ההנאה של השהיה בחיק הטבע הימי, מה שמביא לשיפור החיבור בין האדם, בעיקר הצעיר, לים. בדומה לשיעורי חינוך גופני כך גם באמצעות היציאה למרחב החופי והימי מביא החינוך הימי גם לתועלת הבריאותית (גוף ונפש), ואף לתועלות כלכליות הנובעות מהביקוש לכיתות לימוד ועזרי לימוד מגוונים. תועלות שירות התרבות של המערכת הימית התומך במחקר המדעי הינן דרך עירור עניין מדעי וגיוס תקציבי מחקר, ופיתוח פתרונות מבוססי המגוון הביולוגי הימי לבעיות הנדסיות, תזונתיות, אנרגטיות ואחרות של המין האנושי. התרומה הכלכלית של שירות זה מתבטאת בפרנסתם של המהנדסים והחוקרים, ובעיקר כאשר תוצאות החינוך והמחקר הימיים מקדמים כללה המבוססת על משאבי הים.

אלפי תלמידים, טכנאים וחוקרים, ישראלים וזרים, עובדים באוניברסיטאות ומכוני המחקר על פרויקטים מדעיים הקשורים בים ובמגוון הביולוגי בו. מגני ילדים ועד לאזרחים ותיקים, כלל אזרחי ישראל עשויים להיות חשופים לחינוך המתמקד במערכת האקולוגית הימית בחינוך פורמלי, בחוגי העשרה ודרך מסכי הטלוויזיה והמחשב. בעוד בתי הספר הימיים בארץ ספורים, פעילויות חינוך ימי שונות, ארציות ומקומיות, כוללות גם בתי ספר רבים בעורף החוף, מורים, מדריכים ומודרכים, חיילים בחיל הים ואזרחים מן השורה. התפתחות הטכנולוגיה פותחת אפיקי עניין ומחקר חדשים כל העת גם בתחום הימי, וריבוי ירחוני המחקר ובמות הפרסום המדעי השונות (כולל ברשת האינטרנט) תורמים להגברת מחקר המגוון הביולוגי הימי והנגשת הידע עליו לציבור.

2.4.4.3.3 מגמות וגורמים מחוללי שינוי

חסרים נתונים לגבי כלל תקציבי המחקר הימי בישראל או ממדי התעסוקה הנגזרים מהמערכת האקולוגית הימית, וגם בהערכות מערכות אקולוגיות ימיות אחרות בעולם לא נתקלנו בכימות כזה. טרם בוצעה סקירה של הספרות המדעית העוסקת במגוון הביולוגי בים התיכון בישראל, מה שעשוי היה לסייע בזיהוי מגמות במחקר ובגישה פועל ידע. עם זאת, מוקמים כל העת עוד

גופים אקדמיים (למשל המכללה הימית רופין ב-1997, אקו-אושן ב-2002 או ביה"ס למדעי הים באונ' חיפה בעשור האחרון) ואחרים העוסקים בחקר הים והמערכת האקולוגית, ובשנים האחרונות עוד יותר כך עם התפתחות הנמלים, הטכנולוגיה ובעיקר גילוי הגז הטבעי. לאחרונה הוקם גם מרכז מחקר ים תיכון, בהובלת אוניברסיטת חיפה, הכולל את כל האוניברסיטאות, המכללות ומכוני המחקר הרלוונטיים. ממדי שירות החינוך הימי גדלים עם גודל האוכלוסייה הצעירה, עם העלייה באיכות החיים ועם פנייתה של ישראל אל הים. בנוסף, התפתחות הצילום התת ימי (גם בשל הטכנולוגיה הדיגיטאלית, שהופכת את המשימה לקלה ביותר) והרשתות החברתיות מאפשרים בעשור האחרון להנגיש חינוך ומחקר ימי לכלל האוכלוסייה ביוזמות שונות, בתקשורת ובמסגרות לא פורמליות. אין בידינו נתונים על כלל פעילויות החינוך הימי בישראל ועל חלקה של המערכת האקולוגית הימית בו. במרכז ההצלת צבי ים ביקרו עשרות אלפי תלמידים בשנים האחרונות, בעמותת אקו-אושן בשדות ים עוברים כ-5,000 איש בשנה הדרכות בנושאי הסביבה הימית, וביחידת החינוך של המכון לחיא"ל בשקמונה כ-5,000 תלמידים בשנה עוברים הדרכות ולימודים לבגרויות. כל אלה ואחרים לא היו קיימים כלל לפני שני עשורים, מה שעשוי להצביע על עליה בשירותי התרבות של חינוך המסופק על ידי מערכת הים התיכון של ישראל.

שינויים בממדי המחקר עם הזמן אינם רק תוצאה של עניין הציבור, הרשויות והמדענים; הם עשויים להיות גם תוצאה של מגמות במגוון הביולוגי שהצריכו ידע לתכנון וביצוע ממשק של המערכת הימית. גורמים מחוללי שינוי גדולים ומהירים במגוון הביולוגי, כמו אלו המתרחשים בים התיכון, בעיקר כאלו העלולים להשפיע לרעה על אספקת שירותי המערכת הימית מהווים בפני עצמם גורמים המחוללים שינוי בממדי המחקר וכיוונו ואף סיבה לקיום מחקר. קצב הפלישה של מינים זרים למערכת הימית למשל מואץ כל העת, ומינים אלה מספקים כר נרחב למחקר. כך גם חשש מדליפות נפט, דיג יתר או שינויי האקלים אמורים להוות גורם מחולל שינוי באספקת שירותי המדע והחינוך של המערכת הימית. נראה כי מספר הפרסומים המדעיים בנושאי המערכת הימית עולה בשנים האחרונות, אך לא ידוע אם גורם מחולל שינוי זה הוא התמורות במגוון הביולוגי הימי. אך שינויים מהירים וחדים אלה, כמו היעלמות מיני דגל והופעת מינים חדשים תופסים מקום רב בתכנים חינוכיים של חל"ט, רט"ג, אקו-אושן, יחידת החינוך במכון לחיא"ל, בתי ספר ימיים, ושל קבוצות שונות ברשת האינטרנט ועוד.

העלייה בהיקף ובאופי הגורמים מחוללי השינוי בשירותי המערכת הימית מעלה בשנים האחרונות את היקף המחקר הימי, הטכנולוגי והסביבתי, גם ובעיקר בשל מחסור רב בידע הנדרש על מנת להעריך את השפעת הגורמים עצמם על המערכת האקולוגית הימית. במהלך תחילת המאה ה-21 הוקמו מספר מערכות ניסוי מתקדמות בחיא"ל לחקר השפעת שינוי האקלים על האקולוגיה של חופי הים התיכון. זאת לאור התובנה כי גורם זה עלול להיות משפיע במיוחד על המגוון הביולוגי של ישראל. בנוסף, נרכשה על ידי המרכז לחקר הים התיכון ספינה גדולה שהוסבה לספינת מחקר מתקדמת ביותר, וכן נרכשו מספר כלים אוטונומיים למחקר אוקיינוגרפי מתקדם. אלה מיועדים גם לים העמוק ואמורים לענות לצורך המתגבר בהבנת המערכת הימית בים תיכון לאור מגוון הגורמים המחוללים שינויים שליליים במערכת האקולוגית הימית והמגוון הביולוגי שלה (למשל קידוחי הגז והנפט).

בדומה לכך, גורמים מחוללי שינוי במערכת עשויים לחולל שינוי חיובי באספקת שירות החינוך של המערכת. פסולת מוצקה בחופים גם היא נושא שנדון רבות בחינוך במהלך העשורים הראשונים של המאה ה-21 (במסגרת תכנית חוף נקי של המשרד להג"ס ועוד). בבריטניה לדוגמה, מתוך הכרה בהיקף העצום והמגוון של פעילויות החינוך והמחקר, ובחוסר היכולת להגדיר ולכמת אותו כיאות, מספר תלמידי בית הספר המבקרים בסוורים לחופים שימש כדוגמה למדד להפקת השירות (Frost et al., 2011). גם בישראל קיים פער ידע שגישורו יאפשר הערכה מלאה של ממדי החינוך והמחקר המדעי שבוצעו בהשראת המערכת האקולוגית של הים התיכון הישראלי.

2.5. יחסי גומלין בתוך ובין המערכות

2.5.1. השפעת מערכות-על אחרות על המגוון הביולוגי ואספקת השירותים של מערכת ים-תיכון

2.5.1.1. השפעת מערכת-על מפרץ אילת על מערכת-על ים תיכון

תעלת סואץ המהווה נתיב להעברת מי ים, ספינות, ועימם יצורים חיים, בין אגן הים התיכון המזרחי ובין מפרץ סואץ, העבירה מאז שנת 1869 מאות מינים לים התיכון ומהם כ-450 פלשו למערכת הישראלית. מכלול אוכלוסיותיהן של מינים אלה מתפקד כגורם מחולל שינוי ישיר במגוון הביולוגי של המערכת ולכן גם באספקת שרותיה (ראה סעיף 2.3.1 פלישת מינים זרים). מקורן של אוכלוסיות אלה הוא מפרץ סואץ, אך מפרץ סואץ הוא שלוחה של הים האדום, ולו שלוחה נוספת והיא מפרץ עקבה (ונקרא בישראל "מפרץ אילת"). לפיכך סביר שהמגוון הביולוגי של מפרץ סואץ דומה מאד, אם כי לא בהכרח זהה, לזה של מפרץ אילת, כולל זה של מערכת-העל של מפרץ אילת. אפשר אמנם לצפות שהמגוון הביולוגי של מערכת זו לא יחפוף במלואו לזה של כל מפרץ אילת משום שמיקומה בקצהו הצפוני של המפרץ, המרוחק ביותר מהים האדום וגם מפתח מפרץ סואץ לים האדום. אמנם נמצא ש-22 מתוך 93 מיני דגים שנמצאו באזור החולי של החוף הצפוני של מערכת מפרץ אילת היו בין המינים שפלשו לים התיכון (Golani & Lerner, 2007), אך לא ניתן לנכס את גורם פלישת המינים הטרופיים למערכת העל של הים-התיכון למערכת העל של מפרץ אילת, וסביר להניח ששינויים במגוון הביולוגי של מפרץ סואץ או הים האדום עשויים להשפיע על מערכת הים התיכון יותר מאשר שינויים ספציפיים שעשויים להתרחש במערכת מפרץ אילת.

2.5.1.2. השפעת מערכות יבשתיות על מערכת הים התיכון

חומרי דשן ביתיים ותעשייתיים ומזהמים ממערכות עירוניות, חקלאיות ואחרות מוזרמים למערכת הים התיכון ממקורות נקודתיים, באמצעות נחלים ומכוני טיהור, או ממקורות מבוזרים באמצעות נגר עילי המוגבר על ידי תשתיות האוטמות את הקרקע ככבישים ומבנים, ואף מנחלים מזהמים. ריכוזי מזהמים אלה פוחתים והולכים ככל שאזור המערכת הימית רחוק יותר מהחוף, שהוא האזור הקולט הראשון שלהם. הנגר העילי שלאחר אירועי גשם מוביל למערכת הימית גם חומרי דשן מהקרקע הנסחפת של מערכות החבל הים תיכוני, ממערכות חקלאיות ואף מהמערכות המדבריות, שמעשירים את מאגר חומרי הדשן של המערכת הימית ובכך מחזקים את התהליכים האקולוגיים התומכים של מיחזור החומרים והייצור הראשוני. אך עודף של חומרי דשן באזור החוף ומדף היבשת הרדוד עשוי לעודד פריחות אצות פלנקטוניות העלולות להביא לתמותה של מיני קרקעית. ניתן לשער כי אירועים בהם קצב הפקת שרות וויסות איכות מי הים אינו מדביק את קצב הסעת זיהומים כימיים מהמערכות היבשתיות. אך אין מידע כמותי על תגובות המגוון הביולוגי של מערכת הים התיכון הישראלית להעשרת המערכת בחומרי דשן ובזיהומים השונים שמקורם במערכות היבשתיות, וכך גם לא על השפעת התגובה הזו על אספקת שירותי המערכת.

2.5.2. יחסי גומלין בין אזורי המערכת - גורמים מחוללי שינוי, סינרגיה והמרות

יחסי גומלין שבין גופי המים של מדף היבשת והים העמוק והקרקעית שלהם באים לביטוי בתהליכים התומכים של מיחזור חומרים וייצור ראשוני, שכן מרב הייצור הראשוני הוא בגופי המים, וייצור ראשוני זה מזין תהליך מיחזור החומרים המתרחש בעיקר בקרקעית. ליחסי גומלין אלה השפעה סינרגטית על הפקת שרות וויסות האקלים הגלובלי – קיבוע הפד"ח תלוי האור מופק על ידי המגוון הביולוגי הצמחי של גוף המים, ומגוון המפרקים, הסרי חוליות וחיידקים של הקרקעית תורם את חלקו באספקת הנוטריינטים הנדרשת לתהליך הקיבוע שנעשה בגופי המים. בנוסף, המגוון הביולוגי של הקרקעית אף מעורב בתחזוקת המאגר שבקרקעית וגם מוסיף לשרות וויסות האקלים הגלובלי באמצעות אצירת פחמן, את סילוק המתאן שמייצרת המערכת (ראה סעיף 2.2.4.2.2. קרקעית המישור).

אין מידע על התרומה היחסית של כל אחד מאזורי מערכת-העל להפקת שרות וויסות איכות מי הים, אך סביר שיש למנגנון שרות זה השפעה על רכיבי מגוון ביולוגי שבמערכת המעורבים באספקת שירותים אחרים, אך זיהום מי הים עלול לפגוע בהם, ולכן גם באספקת אותם שירותים. למשל, הזיהום הכימי של המערכת הוא אחד הגורמים מחוללי השינוי השלילי בשרות אספקת הדגה, ובעיקר בביקוש לשרות זה, אך הוא עלול לפגוע גם ברכיבי מגוון ביולוגי המעורבים בהפקת שרות וויסות איכות המים, מה שמייצר סינרגיה שלילית באספקת שירותים. במקביל, הזיהום האורגני עשוי לסייע לתהליך הייצור הראשוני התומך בדגה ולכן תומך בממדי הפקת שרות אספקת הדגה. מכאן שאמצעים טכנולוגיים למיתון זיהום אורגני של מי הים (מתקני טיהור) המסייעים (או אף מייטרים) את הפקת שרות וויסות המים של המערכת, עשויה להוות המרה של שרות אספקת הדגה בשרות התרבות של פעילות פנאי ונופש במערכת, שהפקתו נפגעת מזיהום מי הים. לעומת זאת, דיג-יתר שהוא גורם מחולל שינוי במערכת (ראה סעיף 2.3.3). עלול לעודד גורם מחולל שינוי אחר, זה של מינים פולשים (עקב הקטנת התחרות על המזון ויתכן שגם בגלל ירידה בטריפה) המתבטא בהופעת מדוזות בגוף המים, מה שפוגע בשרות התרבות של פנאי ונופש (ראה סעיפים 2.4.1 ו-2.4.2), היינו סינרגיה של שני שירותים הפוגעים בשרות תרבות.

2.6. תגובות לשינויים באספקת השירותים במערכת העל

לבד משרות אספקת דגה שהדייג עצמו מהווה את הגורם מחולל השינוי בשרות זה, ניתן למתן את הגורמים המחוללים שינוי בכל השירותים האחרים, למעט פלישת מינים, התחממות המים ועליית המפלס, באמצעות תגובות מתאימות. אך כיוון שאין מידע ספציפי על תפקוד מינים או קבוצות מינים באספקת כל אחד מהשירותים, כך גם לא ניתן לזהות ספציפית מי מהגורמים שזוהו כמחוללי שינוי במערכת פוגע במי מהמינים ולכן גם באיזה שירותים. סביר לפיכך שהתגובות לכל אחד מהגורמים מחוללי השינוי, יהיו אשר יהיו, הן תגובות לשינויים פוטנציאליים או ממומשים במכלול המגוון הביולוגי של המערכת. לפיכך ידונו להלן התגובות לשינויים בהפקת שרות אספקת דגה, ולאחריהן התגובות לגורמים מחוללי השינוי במכלול המגוון הביולוגי של המערכת, וזאת בהנחה שהמכלול לכשעצמו וגם רכיבים ספציפיים שלו מעורבים בהפקת שרותי התרבות של המערכת.

2.6.1. תגובות לשינויים בשרות אספקת דגה

דיג-יתר הוא אחד מהגורמים החשובים המחוללים את הפגיעה בשרות אספקת דגה (ראה סעיף 2.3.3), וזאת למרות קיומה של "פקודת הדיג" המנדטורית מ-1937 שהיא הכלי העיקרי לניהול הדיג במערכת על ידי אגף הדיג והמדגה של משרד החקלאות. ניהול זה כולל בקרה של מספר כלי שיט, שיטות הדיג, מיקום אתרי הדיג, מועדי הדיג, אורך הדגים, מינים מותרים ועוד. תקנות הדיג החדשות שנכנסו לתוקף בינואר 2017 מהוות שינוי היסטורי בתפיסה של מדינת ישראל - מדיג בלתי מווסת בו היו הדייגים חופשיים למדי לדוג כמעט כראות עיניהם, לראיית עולם המציבה את הטבע הימי, ובכללו משאב הדגה, לפני טובת הדייגים המיידית. תקנות אלה, אף כי אינן מתייחסות ישירות לקידום שרות אספקת הדגה, מציעות כלים לשיפור מצב הדגה במערכת. התקנות החדשות כוללות, בין השאר, איסור על דיג חופי בעונת הרבייה של הדגים, איסור על דיג הקפה פחות מ-500 מ' מהחוף, איסור על דיג מכמורת בעונת הגיוס (החלה מיד לאחר עונת הרבייה), מגבלות אורך חדשות שהושטו על מספר מיני דגים, מכסות שלל יומיות בדיג חובכים ועוד. דיג המכמורת נאסר בכל השליש הצפוני של ישראל (צפונית לחוף דור), ובדרום סביב 11 אזורי המסלע הגדולים וכן באזורים הרדודים מעומק 40 מ' צפונית לבת ים ורדודים מ-30 מ' (25 מ' בלילה) דרומית לבת ים (איור 1). גודל העין המזערי המותר לשימוש הוגדל בכל שיטות הדיג (48 מ"מ במכמורת, 30 מ"מ בדיג חופי), ומהלך לרכישת וגריטת ספינות מכמורת שהחל ב-2017 צמצם את גודל הצי לכ-15 ספינות בלבד.

העברת החקלאות הימית ממערכת העל-של מפרץ אילת למערכת הים התיכון בשנת 2008 הביאה להגדלת ממדי ההפקה של שרות אספקת דגה של מערכת הים-התיכון. היות והחקלאות הימית מתפקדת גם כגורם מחולל שינוי שלילי (ראה סעיף 2.3.6.3). פוטנציאלי שכנראה מומש כאשר חקלאות זו טופחה במי מערכת מפרץ אילת (Atkinson et al., 2004), מתקיים במערכת ניטור מזהמים יעיל. נכון לשנת 2014 החריגות מהתקינה ומכלול השפעות הכלובים על המערכת זניחות (צהרי, 2014), ומשרד החקלאות הגדיר שטחים של מעל 500 קמ"ר כבעלי פוטנציאל לפיתוח נוסף של חקלאות ימית זו במערכת הים התיכון (Moses, 2013).

2.6.2. תגובות לגורמים מחוללי השינוי במכלול המגוון הביולוגי

2.6.2.1. שמירה על המגוון הביולוגי מפני פעילות האדם בתוך המערכת - שטחים מוגנים

שמירה על המגוון הביולוגי, כולל הדגה מפני פעילות האדם בתוך אזורי החוף והכרית של המערכת (דיג מסחרי, דיג חובבים, וכל פגיעה פיזית ביצורים ובתשתיות הטבעיות), קיימת רק מאז ראשית שנות ה-60 עם הכרזתן של מספר שמורות טבע קטנות צמודות לחוף הנמשכות כמה מאות מטרים בלבד לתוך הים ושטחן הכולל 10.4 קמ"ר (0.4% משטח המערכת שבתוך המים הטריטוריאליים: יהל, 2011). עליהן נוספו אזורים בחופי ראש הנקרה-אכזיב ושקמונה המוגנים תחת "הכרזת ערכי טבע מוגנים" (התשס"ה-2005), וגם אזורים סגורים מטעמים ביטחוניים מספקים שמירה למגוון הביולוגי, כמו השטח הצבאי הסגור באזור עתלית שנמצא בעל מגוון ביולוגי עשיר משטח ביקורת סמוך (שפניר וסונין, 2008). בשנת 2014 אושרה תוכנית רט"ג להכרזת שמורה מול חופי ראש הנקרה ואכזיב לאורך כ-12 ק"מ של קו חוף (יהל 2011), עד למרחק של 15 ק"מ מהחוף ולעומק של 850 מ'. בנוסף מקדמת רט"ג תכנית להכרזת שש שמורות ימיות, ששטחן כ-800 קמ"ר, היינו כ-20% משטח המים הטריטוריאליים של המערכת (יהל ואנגרט, 2012). בשטח זה וזהו עשרה אזורים המוגדרים כל אחד כמערכת אקולוגית, לה יעדי שימור וממשק משלה.

2.6.2.2. תגובות לזיהום שמקורו מחוץ למערכת

גם אם סביר שהמניע העיקרי לתגובות הרשויות בישראל שנועדו למיתון זיהום הים הוא המטרד האסתטי והסכנה הבריאותית לרוחצים בים ולמבקרים בחופים, תגובות אלה מסייעות לשמירה על רובו של המגוון הביולוגי שברחבי המערכת הימית העלול להיפגע מזיהומי ים ממקורות יבשתיים. חוק שנכנס לתוקף בשנת 1990 אוסר הזרמה לים ללא היתר מועדה בין-משרדית מיוחדת בת שמונה חברים ונציג ציבור. אכיפת החוק הביאה להפסקת הזרמות לים במקומות שבהם קיימת חלופה יבשתית, לצמצום עומסי הזיהום המוזרמים, ולצמצום תקלות הביוב שהובילו שפכים עירוניים לים (עמיר, 2013). כך גם פחתו עומסי המתכות הכבדות במפרץ חיפה (חרות וחוב, 2014) והוקמו מתקני טיפול בשפכים. השימוש בצבעים המכילים TBT (תוסף צבע למניעת צמדה ימית) נאסר בתחילת המאה ה-21 ואמנם נרשמה ירידה ברמת הזיהום שלו במי הים לערכי סף (חרות וחוב, 2014). כמו כן אושרה בשנת 2008 תכנית לאומית למוכנות ותגובה לזיהומי ים בשמן (עמיר, 2013) ונחתמה אמנת שיתוף ומוכנות לטיפול בזיהומי ים בשמן (OPRC, 1995) עם מדינות שכנות.

2.6.2.3. תגובות לפסולת מוצקה

הפסולת המוצקה מהווה גורם מחולל שינוי בעיקר באזור החופי ואזור הכרית (ראה סעיף 2.3.4.5). החל משנת 2005 תכנית ניקיון החופים של המשרד להגנת הסביבה עושה שימוש ב"מדד חוף נקי" לשם הערכת מידת ניקיון חופי הארץ הלא מוכרזים בים התיכון (עמיר, 2013). עיקרי התוכנית מבוססים על תמיכה בפעילויות ניקיון קבועות בידי הרשויות המקומיות החופיות בעלות שנתית של כ-1.5 מיליון שו, וכן תכנית הסברה והינוך מקבילה (עמיר, 2013) "משמר החוף" אחראי על הינוך והסברה

במסגרת התוכנית. אך החל מהשנים 2012-2013 הצטמצמו תקציבי התכנית "חוף נקי" משמעותית. גם החברה להגנת הטבע עוסקת בהטמעת תכנית הלימודים "חוף מעשה במחשבה תחילה" בבתי"ס יסודיים במסגרת תוכנית זו (ארז ויאיון, 2014).

2.6.2.4. תגובות לפיתוח פיזי - תשתיות ובנייה בחוף ובים

פיתוח תשתיות ומבנים בחופים, הפעלתם ותחזוקתם עשויים לשנות תכונות פיזיות של תשתיותיה הטבעיות, חול ומסלע של מערכת החוף, ובכך להשפיע גם על המגוון הביולוגי שתשתיות אלה מתחזקות. התגובה לפעילויות הפיתוח הללו היא תחיקה והסדרה של השימוש בחופי הארץ שהחלה בתוכנית המתאר הארצית לחוף הים התיכון (תמ"א 13, 1983) משנת 1983 ועודכנה בשנת 2004 ב"חוק שמירת הסביבה החופית" שנועד להבטחת סדר עדיפות לשימושים המחייבים קרבה לים אך גם להגנה על אוצרות הטבע והמורשת של "הסביבה החופית" (כל השטח התחום בין קו המרוחק 300 מטר מקו החוף שגובהו 0.75 מ' מפני הים ועד קצה המים הטריטוריאליים של המדינה) ושל "התחום החופי" (שבין הקו המרוחק 100 מ' מקו החוף ועד עומק מים של 30 מ' או מייל ימי - המרוחק מביניהם).

מטרת החוק לצמצם את הפגיעה באזורים אלה על מנת "לשמור על הסביבה החופית והחול החופי לתועלת ולהנאת הציבור, ולדורות הבאים", כך שגם אם המגוון הביולוגי ושירותי המערכת אינם כלולים בלשון המטרה, הרי שלא לשמה בא לשמה. ועדה שהוקמה במשרד הפנים בשנת 2005 (ועדה לשמירת הסביבה החופית, הולחו"ף) בוחנת, דוחה או מאשרת את התכניות המיועדות לבנייה ושימוש בתחום של 300 מטר מקו המים (Sas et al., 2010). בחמש שנותיה הראשונות בדקה הוועדה למעלה מ-300 בקשות לשימוש בחוף עבור מגורים, מלונות, דירות נופש, תחנות כוח, מתקני התפלה, גז, שמורות טבע וגנים לאומיים, אירועים, חופי רחצה ושרותי חוף (משרד הפנים, 2010).

מבין "אוצרות הטבע" של "הסביבה החופית", אפשר שהמשמעותי ביותר הוא החול המהווה תשתית פיזית שמתחזקת את המגוון הביולוגי של אזור החוף שבמערכת הימית. אולם תשתית זו של המערכת מתפקדת גם כמחצב שקצב התחדשותו איטי, אך עבר תהליך של כרייה מסיבית לצורכי בניין במהלך המחצית הראשונה של המאה ה-20, עד שזו נאסרה לראשונה (בשטח שגבולו 150 מטר מזרחה או מערבה מקו החוף) בשנת 1964. במסגרת מסמך המדיניות לניהול מימי החופים, החל משנת 1999 נאסרה כרייה בקרקע הים בעומק שעד 30 מ'. למרות כל אלה, ועדות התכנון מאשרות לעתים כריית חול ימי בשל המחסור בחול ממקורות יבשתיים. לדוגמה, בתסקיר תכנית מקורות החול לנמל המפרץ ("הרחבת נמל חיפה") נכללה בקשה שאושרה על ידי הולחו"ף (אך עם תנאים מגבילים) לכרייה בעומקים פחותים מ-30 מ', אך עם תנאים מגבילים.

יעילותם של החוקים, התקנות והוועדות והשפעתם על מיתון הפיתוח הפיזי של אזור החוף של המערכת הימית המייצר אלומה של גורמים מחוללי שינוי במערכת לא נבדקה. דוגמה, אין עדיין מידע על השפעת פליטות מי הים החמות והמלוחות של תחנות הכוח ומתקני ההתפלה. לפיכך, ובהתייחס לתחזיות הביקוש הגובר למים ולאנרגיה והשפעותיו האפשריות על המערכת, למערך ניטור ההשפעות של גורמים מחוללי שינוי אלה חשיבות רבה. אשורר "האמנה לשמירת הסביבה הימית וחופי הים התיכון" ("אמנת ברצלונה") והפרוטוקול שלה (Protocol on Integrated Coastal Zone Management) על ידי מדינת ישראל ב-2014 עשוי אולי לעודד תהליכי תחיקה, תכנון וניהול כוללני שיביאו למיתון פעילות גורמי השינויים השליליים בהפקת שרותי אזור החוף של המערכת הימית.

2.7. פערי ידע שזוהו במהלך הערכה וגישורם דרוש להשלמתה

2.7.1. שרותי אספקה

מחקר: ממדי ההפקה של שרות אספקת דגה על ידי הדיג החובבני; ממדי השלל והמאמץ של דיג בשיטות הדיג שאינן דיג מכמורת, על מנת לאפשר זיהוי אמין של דיג-יתר; ניטור: שלל הדיג לפי מינים, לצורך הערכת מלאי מיני הדגה במערכת.

2.7.2. שרותי ויסות

שרות ויסות איכות מי הים: השפעת שרות זה על איכות מי ההתפלה וזיהוי תפקודי כל אחד מהמינים המעורבים בהפקת השרות; התרומה היחסית של שרות הוויסות בנפרד מזו של מיהול הזיהום במי הים; המנגנונים ורכיבי המגוון הביולוגי המעורבים בהפקת שרות וויסות איכות מי הים באזור המצע החולי של אזור הכרית. שרות ויסות אקלים גלובלי: ממדי הקיבוע ולכידת הפחמן על ידי רכיבי המגוון הביולוגי של קרקעית כל אחד מאזורי המערכת. שרות וויסות בליית המצוק החופי: כימות מיתון אנרגית הגלים על ידי כרכובים של טבלאות הגידוד ברמות שונות של גדלי אוכלוסיות הצינוריר הבונה; השפעת גורמים מחוללי שינוי (התחממות מי הים, חומציות הים, שינויים במפלס ויחסי גומלין עם שאר מיני הכרכוב) מחקר שדה ומעבדה.

2.7.3. שירותי תרבות

אפיון, זיהוי, כימות ופילוח האוכלוסיות והמגזרים המשתמשים בשרותי ההתנסות האקטיבית (פנאי וכו'), בשרותי ההתנסות הפסיבית (השראה וכו'), ושאינם מייחסים את השימוש בים לתפקודו כמערכת אקולוגית; זיהוי וכימות ההשפעה של מגמות במיני הדגל של המערכת על מגמות בממדי השימוש בכל אחד משרותי התרבות של המערכת; מגמות ערך הנדל"ן בחופים וחלקו של תפקוד הים כמערכת אקולוגית בעיצוב מגמות אלה.

2.7.4. מכלול השירותים

מחקר וניטור: המינים ואומדני מספרי הפרטים במים הנשאבים לתחנות הכוח ומתקני ההתפלה; ההשפעה של תחנות הכוח ומתקני ההתפלה על המגוון הביולוגי באתרי השאיבה והפליטה של תחנות הכוח ומתקני ההתפלה; כימות יחסי הגומלין בהפקת שרותים והגורמים מחוללי השינויים בהפקה, בין האזורים השונים של המערכת, בעיקר בין אזורי הקרקעית ואזורי גוף המים; השפעת מינים פולשים על אספקת כל אחד מהשרותים בהם מעורבים המינים המקומיים; הערכה כלכלית של כל אחד משרותי המערכת הימית של ישראל; הערכת שירותים פוטנציאליים של המערכת הימית – אספקת משאבים גנטיים וויסות מינים פולשים.

3. מערכת מפרץ אילת

3.1. מבוא

3.1.1. מיקום, גבולות וממדים

המערכת הימית הישראלית של מפרץ אילת ממוקמת בראש מפרץ אילת (קרוי מפרץ עקבה במיפוי הבינלאומי). גבולותיה מתמשכים כ-14 ק"מ לאורך החופים, מגבול ישראל-ירדן בצפון מפרץ אילת ועד גבול ישראל-מצרים בדרום החוף הישראלי. כל השטח הימי שממזרח לקו זה ועד לקו אמצע המפרץ, סה"כ 31 קמ"ר, מהווה את המערכת האקולוגית הישראלית של מפרץ אילת (איור 1).

3.1.2. המאפיינים הפיזיים

מפרץ אילת היא שלוחה צרה (רוחב ממוצע 16 ק"מ), ארוכה (180 ק"מ) ועמוקה (900 מ' בממוצע) של מערכת ימית הננעצת אל ליבה של מערכת מדברית נרחבת (סיני ודרום הנגב והערבה). לכן למערכת המדברית השפעה רבה על תכונותיו הפיזיות של המפרץ כולו, כולל מערכת מפרץ אילת הישראלית. עקב מיעוט הגשמים רק כמויות דלות של נגר עילי מהמדבר מגיעות לים, ואף אלה דלים בחומרי דשן שכן לקרקעות המדבר דלות יחסית של חומרים אורגניים. בנוסף, עקב הטמפרטורות הגבוהות של המדבר האידיאלי מפני מי המפרץ גבוה ואינו מתאזן על ידי תרומת המים המתוקים הדלה של המדבר לים, מה שתורם גם למליחות הגבוהה של מי המפרץ. לפיכך למערכת מפרץ אילת לא רק טמפרטורה גבוהה (20-27 מעלות בפני השטח ו-21 מעלות בעומק), אלא גם מליחות גבוהה (כמעט 41 חלקים לאלף). יחד עם זאת למי המערכת עכירות נמוכה (עקב דלות הנגר העילי בסחף), שמשמעותה צלילות גבוהה של גוף המים המאפשרת חדירות אור גבוהה. כמו כן, טמפרטורת המים העליונים גבוהה מזו של המים העמוקים ברוב השנה, למעט בחורף, שבמהלכו חל ערבול של עמודת המים מה שמעלה חומרי דשן מהמים העמוקים לעליונים.

3.1.3. המגוון הביולוגי

בים סוף כולו כ-1,300 מיני דגים, כ-1,000 מיני רכיכות (חלזונות, צדפות, דיונונים, תמנונים ועוד), כ-500 מיני סרטנים, מעל ל-250 מיני אלמוגי אבן, אלמוגים רכים וגורגוניות, כ-200 מיני קווצי עור (קיפודים, חבצלות-ים, כוכבי-ים, מלפפוני-ים ונחשוני-ים), ובתוספת הקבוצות הפחות מוכרות, סה"כ כ-5,000 מינים. כ-20% מכלל מיני ים סוף הם אנדמיים, היינו נמצאים רק בים סוף, וזאת משום בידודו החלקי מהאוקיינוס ההודי ע"י מיצרי באב אל מנדב הרדודים והאקלים הקיצוני באזור. הודות לכך, גם המערכת הישראלית של מפרץ אילת, שהיא אף בבדוד מסוים מים סוף על ידי מיצרי טיראן, כוללת שונות אלמוגים טרופית מהצפוניות בעולם בה מגוון ביולוגי עשיר וצבעוני; לדוגמה, מבין 14 מיני הדגים ממשפחת הפרפרוניים שבים סוף הם אנדמיים (דפני, 2000). למעלה מ-40 מיני אלמוגי אבן הבונים את השוניות, וסביבה ובתוכה אלפי מינים של חסרי חוליות, יותר מ-1200 מיני דגי גרם וסחוס, שלושה מינים של צבי ים ואף יונקים ימיים. גם באזורים שמחוץ לשוניות מגוון ביולוגי טרופי, הכולל גם שפע של רכיכות ובלוטי ים באזור הכרית, ומרבדי עשב ים על קרקעית חולית.

3.1.4. אזורי מערכת-העל, מאפיינים פיזיים והמגוון הביולוגי שלהם

מול רובו של קו החוף המתמשך מדרום המערכת בגבול עם מצרים ועד לקצהו הצפוני של המפרץ, באילת, נמצאת שונות האלמוגים החוגרת (מהווה כעין חגורה לחוף), המהווה לכשעצמה בית גידול לרובו של המגוון הביולוגי של האזור החופי. לעומתה, מול קו החוף החוסם את ראש מפרץ אילת ונקרא "החוף הצפוני", נמצאים מרבדי עשבי הים על מצע חולי, המהווים

גם הם בית גידול למגוון ביולוגי שונה ביותר מזה של השונית. להלן יתוארו שני אזורים חופיים, האחד מול קו החוף הדרומי ומולו שונית, והשני מול החוף הצפוני, ומולו מרבדי עשבי הים. האזורים האחרים הם אלה של קרקעית מדף היבשת והים העמוק, ושל גוף המים.

3.1.4.1 האזור החופי - שונית האלמוגים

3.1.4.1.1 המאפיינים הפיזיים

לאזור זה שלאורך החוף הדרומי וכולל את אזור הכרית (שמשרעתו מגיעה עד למטר אחד) קרקעית קשיחה אך גם חוליית, לסירוגין. באזור הכרית העליון נמצאים סלעי חוף (beachrock) - לוחות תלכיד חלוקים שמקורם בסלעי היסוד הסמוכים (כגרניט ועוד), ומרבצי חלוקים על מצע חולי. באזור הכרית הנמוך והנחשף לאוויר לעיתים רחוקות, הקרקעית נושאת גושי אלמוגים מבודדים ומקטעי שונית אלמוגים המפוזרים לאורך החוף בשטח של כ-3 קמ"ר (איור 1). באזור זה גם השונית החוגרת הרציפה ברוחב כ-50 מ', לאורך כ-1.2 ק"מ (דפני, 2000), ושטחה כ-0.06 קמ"ר. חלקה הקרוב לחוף שטוח ("שולחן השונית") ועמוד המים מעליו נמוך ומשתנה בהתאם לתנודות הכרית. מעברו הפנימי, בחלקו המערבי (הפונה לים) של השולחן, לגונה בעומק מספר מטרים, שהיא תוצאת התגברות קצב תהליכי הרס השונית על קצב בנייתה (דפני, 2000). בחלקים העמוקים יותר של אזור החוף מצויים גם מקבצים של אלמוגים על מצע חולי. מקור החול בחלק הדרומי של אזור החוף מהתפוררות סלעי היסוד שממערב לחוף, ובו גם אבני גיר, חלוקים, שברי אלמוגים ויצורים אחרים להם שלד גירני (דפני, 2000).

3.1.4.1.2 המגוון הביולוגי

המים הצלולים מאפשרים חדירת האור הנדרש לקיום שונית האלמוגים (שברקמותיהם אצות סימביוטיות), על המגוון הביולוגי העצום שלה. מספר מיני אלמוגי האבן בשונית האלמוגים שהיא מהצפוניות שבכדור הארץ נמוך מזה שבשונית החוגרת של אוסטרליה (Great barrier reef), אך חיים בה כ-130 מתוך 200 מיני אלמוגי האבן של ים סוף (דפני, 2000), ויותר מפי שנים ממספרם במפרץ סואץ. יחד עם שאר בוני השונית (אלמוגים רכים, אלמוגי אש, ספוגים, אצות גירניות, תולעים נרתיקניות ועוד), השונית מתחזקת מגוון ביולוגי גבוה וצבעוני (Loya, 2004). רוב מיני האלמוגים המעופפים הם מהסוגים *Acropora* ו-*Stylophora* והגושיים הם מהסוגים *Favia*, *Favites*, או *Porites*. התדירות של רוב מיני אלמוגי האבן הללו דומה, מה שמעצים את מגוון מיני האלמוגים הכולל (שקד וחוב, 2014). לצד אלמוגי האבן נמצאים אלמוגים רכים כ-*Xenia*, אלמוגי אש מסוג *Millepora*, ספוגים, רכיכות, סרטנים, קווצי-עור (בעיקר קיפודי-ים וכוכבי-ים מנוצים) ודגים. קיפודי הים שהנפוץ בהם הוא נזרית שחורת קוצים (*Diadema setosum*) מלחכים אצות ובכך מאפשרים למינים רבים להתבסס גם כן על מסלע האזור. כך גם ישנן בשונית דוגמאות ליחסי גומלין הדוקים בין מינים, כמו אלה שבין שושנות הים ודג השושנון, בין דגי הנקאי המנקים מיני דגים אחרים מטפיליהם החיצוניים, ובין סרטנים טורפים המרחיקים כוכבי-ים טורפי אלמוגים מהשונית (דפני, 2000).

מכלל פרטי דגי השונית כ-5%-10 הם אוכלי-כל, כ-2%-5 טורפים אלמוגים, 50%-80 ניזוני זואופלנקטון (יצורי בע"ח זעירים מרחפים בגוף המים) (שקד וחוב, 2014), כ-10%-20 טורפי חסרי חוליות וכ-4%-15 צמחוניים המווסתים פריחות אצות צמודות מצע המתחרות עם האלמוגים על שטחי השונית (שקד וחוב, 2014), תפקוד המתבצע גם על ידי קיפודי הים המלחכים את אצות המצע (דפני, 2000). בנוסף לשונית החוגרת, גם עמודי המזח של נמל הנפט (קצא"א) שבאזור החופי מתפקדים כשונית מלאכותית, אשר המגוון הביולוגי שלה עשיר מזה של השונית החוגרת, הטבעית, הנובעים כנראה מהבדלים במבנה ומורכבות – העמודים מציעים מבחר גומחות ועומקים רב יותר, ומהרס השונית הטבעית על ידי פעילות האדם (Rilov & Benayahu, 2000).

3.1.4.2 האזור החופי - מרבדי עשבי הים על קרקעית חול

3.1.4.2.1 המאפיינים הפיזיים

חלקו הצפוני של האזור החופי, אל מול החוף הצפוני של מפרץ אילת, הוא בעל קרקעית חול המיובא בעיקר מחולות סמר שבערבה הדרומית, באירועי שיטפונות. החל מעומק 2-5 מ' ועד לעומק של כ-35 מ' (עד כשני קילומטרים מהחוף) רוב הקרקעית החולית, שטח של כ-2 ק"מ, מהווה תשתית למרבדים של עשבי ים (צמחי מים שאינם אצות, מהמין ימון הקשקשים) שהם דלילים בחלקו הרדוד של החוף אך צפופים ביותר בחלקו העמוק יותר.

3.1.4.2.2 המגוון הביולוגי

המגוון הביולוגי של אזור זה נמוך מזה של השונית, אך למרבדי עשבי הים תרומה רבה ליצרנות הראשונית ולמיחזור החומרים של המערכת, וגם לאספקת בית גידול למגוון רחב של בעלי חיים, כגון סוסוני ים, צבי-ים, סרטנים, קיפודים, נחשונים, חלזונות, חשופיות מרהיבות ודגים. מרבדים דלילים של עשבי הים נמצאים גם בחופים החוליים שבדרום המערכת, חופים שבהם גם צלופחי הגן (*Gorgasia sillneri*), דגים קטנים דמויי תולעת החיים במושבות ומגיחים מתוך מחילות שבקרקעית הרכה (זבולוני וחוב, 2013). באזורים שונים של קרקעית האזור החופי נפוצות גם מדוזות הקסיופיאה (*Cassiopea andromeda*) שרבות מהן מרפדות את קרקעיתה של לגונת השלום שבחוף הצפוני, ואשר נחפרה בשנות התשעים.

במצע החולי גם יצורים זעירים, בעיקר מקבוצת הפורמיניפרים (חוריריות) הבנתונים (שוכני קרקעית) החיים בסמיכות לעשבי הים; אלה הם יצורים חד תאים בעלי שלד גירני, המשמשים כסמנים (ביו-אינדיקטורים) לאיכות מי הים (שקד וחוב, 2014). חפירתם של מעגני הסירות בשנות ה-70 וה-90, שיטפונות חורף והזרמות שפכים שונים בעיקר באמצעות "תעלת הקינט" הנשפכת לאזור החוף הצפוני, וכלובי החקלאות הימית שהוצבו באזור זה הביאו לדילול מרבדי הדשא והמגוון הביולוגי של האזור (Loya, 2004). מאז הוצאו הכלובים מהמערכת בשנת 2008 השתקמו המרבדים והמגוון הביולוגי שלהם (שקד וחוב, 2014). בחלקו הרדוד של החוף החולי של אזור צפון המערכת חיים גם כ-93 מיני דגים (Golani & Lerner, 2007). מתוכם, 22 מהמינים (כ-28%) פלשו לים התיכון באמצעות תעלת סואץ, כולל שלושה מחמשת המינים שנמצאו כ'חשובים' ביותר על פי המדד שמשקלל את מספרם ומשקלם - *Calliomymus filamentosus*, *Pomadasys stridens*, *Atherinomorus lacunosus* (Golani & Lerner, 2007).

3.1.4.3 מדף היבשת והים העמוק

3.1.4.3.1 המאפיינים הפיזיים

שטח מדף היבשת של המערכת הנתחם על ידי קו העומק 100 מ', הוא 9 קמ"ר. רוחבו כמה מאות מטרים בדרום המערכת ו-1.5-2 ק"מ מול אזור החוף הצפוני ה"סוגר" את מפרץ אילת. שוניות אלמוגים חיים נמצאות על קרקעית המדף בעיקר בדרום המערכת (Loya, 2004). שטח הקרקעית הרכה של המדף הוא כ-4 קמ"ר ועליהם מרבדי עשבי-ים דלילים בשטח כולל של כ-2 קמ"ר, לאורך החופים הדרומיים, גם בקרבה לאלמוגים ועד לעומק של כ-50 מ' (Winters et al., 2017). מדף היבשת נשבר בחדות לא רחוק מהחוף, כ-0.3-0.8 ק"מ בלבד בחלק הדרומי של אזור החוף, ו-1.3-1.8 ק"מ מהחוף בחלקו הצפוני של אזור זה, וזאת בעומק של 60-100 מ' (ובנקודות מסוימות גם בעומק 20 מ') (Tibor et al., 2010). מקצה זה של המדף הקרקעית צונחת בתלילות עד לעומק של כ-900 מ'.

שטחה של קרקעית הים העמוק הוא 23 קמ"ר, עד הקו החוצה במרכז המפרץ כ-4 ק"מ מהחוף הישראלי מהגבול עם ירדן בצפון-מזרח ועם מצרים בדרום-מערב. משום תלילות האזור החופי וקרבתו לגוף המים של הים העמוק, האזור החופי מושפע מגוף המים, אשר מושפע מהתהליכים האטמוספריים; חורפים קרים מביאים לערבול עמוק במפרץ אילת (שקד וחוב, 2014)

ומעודדים יצרנות ראשונית בעומקים הרדודים המוארים, ומיחזור של חומרי הדשן שנאגרו במי העומק. בשל המפתנים הרדודים המבודדים את ים סוף (באב אל מנדב) ומפרץ אילת (טיראן) משאר האוקיינוסים, אין כמעט מינים שהם שוכני מעמקים מובהקים בעומק מערכת ים סוף הישראלית, והקרקעית העמוקה מאוכלסת בעיקר על ידי מינים שנחקרו לשם מן הקרקעית הרדודה יותר והמים העליונים (דפני, 2000).

3.1.4.3.2 המגוון הביולוגי של הקרקעית

צפיפות הפרטים של מינים קטנים על הקרקעית העמוקה מ-500 מ' נמוכה עד פי 3 מזו של ימים פוריים (דפני, 2000), וזאת משום עוני בנוטרייטים בגוף המים שמעל הקרקעית, אך מגוון הקרקעית גבוה ומינייה ייחודיים. אלמוגי האבן של המים הרדודים מוחלפים עם דעיכת האור, לרב באלמוגים שחורים (אוכמנאים) וגורגונאים חסרי אצות שיתופיות (הסימביונטים הפוטוסינתטיים) ובעלי שלד גמיש. מושבות אלמוגים כאלו נמצאו עד לעומק 145 מ' (דפני, 2000). בקרקעית העמוקה חיים גם מספר מינים מסוגים ייחודיים ואנדמיים של קווצי-עור (מלפפוני-ים, קיפודי-ים, חבצלות ונחשוני-ים) (דפני, 2000).

3.1.4.3.3 המגוון הביולוגי של גוף המים

השינויים העונתיים של ריכוזי חומרי הדשן והחמצן המומסים במים וזמינותם לאוכלוסיות הפיטופלנקטון בים הפתוח, מונעים על ידי הערבוב העונתי בעמודת המים ומביאים לתנודות רב-שנתיות באוכלוסיות הפלנקטון בגוף המים של רחבי המערכת. הפעילות הביולוגית בעומקים המוארים במפרץ מספיקה למיחזור כל החנקן בגוף המים בתוך עונות עד שנים בודדות בלבד, כאשר השיא השנתי מגיע בדרך כלל בחודשים מרץ-אפריל (שקד וחוב, 2014). אצות מיקרוסקופיות מהוות 95% מנפח הפריחה (Lindell & Post, 1995) ואחריה, בקיץ, נותרות במים אצות ה-*prochlorococcus*, המשגשות בתנאי דלות חומרי הזנה ומשמשות מין מפתח המזין רכיבים רבים של המגוון הביולוגי של השונית והסובב אותה (Lindell and Post, 1995). בנוסף, מתקיים מיחזור ימתי של נדידה אנכית של הפיטופלנקטון במערכת עד לעומק של כ-250 מ' (דפני, 2000). הזואופלנקטון מכיל בעיקר תולעי חץ (כ-44% מכלל הפרטים), סרטנים רכיכות כגון פרפרי-ים (דפני, 2000) ופגיות של מינים רבים. מרבית הפגיות של הדגים וחסרי החוליות נמצאות בעומקים של עד 75 מ', וכ-90% מהפגיות של חסרי החוליות היו של רכיכות והשאר בעיקר של קווצי-עור (World-Bank, 2011). גם למערכת מפרץ אילת מגיעים נחילי מדוזות, בעיקר של הזהבית האזנית *Aurelia aurita*, אך ממדי נחילים אלה קטנים מכדי לתפקד כגורם ישרי המחולל שינויים שליליים במערכת.

רבים מדגי גוף המים העליונים (חניתנים, חד-לסתיים, חד קוציים, חלילונים ואחרים) מתלהקים סביב שוניות האלמוגים, ובולטים בהם הסרדין (*Sardinella*) והאדרית (*Atherinomorus lacunosus*). בין הגדולים יותר בולטים מקרלים, טוניות ודגי חרב (דפני, 2000), שהם בעלי ערך מסחרי-תירותי ונדוגים במגוון שיטות. האורחים הנדירים ביותר במי המערכת הינם דגי הסחוס הגדולים מסנני הפלנקטון, כגון מאנטות ענק וכרישי לווייתן. גם כרישים טורפים כגון העמלץ הכחול או פטישנים נצפים לעתים בגוף המים. צבי ים אינם נפוצים במערכת הישראלית בעיקר בשל מחסור בחופים חוליים רחבים להטלה (דפני, 2000) (אך המצפה התת ימי מתכנן להרבותם בשבי, ולשחררם אל מי המערכת. על פני המים נמצאים דרך קבע מספר מיני עופות ים, בנוסף לעשרות מינים שחולפים מעל מי המערכת או חונים בחופים במהלך נדידתם) (דפני, 2000). בין המינים הדוגרים במפרץ אילת (אך לא במערכת הישראלית), נמצאים בעיקר שחפים וחמסנים, בעוד סולות, יסעורים, פתונים ואחרים הינם בעיקר אורחים תדירים (דפני, 2000).

מתוך 69 מיני דגים שנדגמו עמוק מ-150 מ' בשנות ה-90 המוקדמות, 15 היו אנדמיים לים סוף ואף לא אחד היה מין מים עמוקים "אמיתי" (כאלו שנפוצים במרבית הימים בעומקים דומים) (Baranes & Golani, 1993). ככל שמעמיקים בגוף המים מתרבים מיני הדגים הטורפים. עד 200 מ' אלו בעיקר אופיריות (*Saurida*), סנדלים ודגים שטוחים אחרים, המוחלפים החל

מעומק זה בחכאים, דגי חצובה ודגים בעלי יכולת הארה (Baranes & Golani, 1993). באזורים החשוכים בעומקים גדולים מ-500 מ' עולה חלקם של הכרישים, כגון כריש גדול שן (*Carcharinus altimus*) או יאגו המצולות (*Iago omanensis*) (Baranes & Golani, 1993).

3.2. מגמות וגורמים מחוללי שינוי במערכת-העל של מפרץ אילת

משנות החמישים ועד תחילת העשור הראשון של המאה ה-21 חוותה העיר אילת פיתוח מואץ שתיפקד כגורם מחולל שינוי עקיף שהניע מספר רב של גורמים ישירים להם פוטנציאל לחולל שינויים במגוון הביולוגי של המערכת ולכן בממדי הפקת שירותיה.

בין שינויים אלא כלולים ירידה בממדי התכסית של אלמוגים חיים בחמישה אתרים רדודים בשונית (Wielgus et al., 2004), ובהיעלמות מינים ממספר קבוצות: מיני אלמוגי אבן ושושנות-ים עם דגי השושנון, כמה מיני סרטנים (כולל לובסטרים) ורכיכות (כולל צדפות-ענק), מינים רבים של קווצי-עור (בעיקר נחשוני ים וחבצלות ים), וכך גם נצפתה פחיתה באוכלוסיות כמה מיני כרישים וגיטרנים ושל דגי גרם צבעוניים (דפני, 2000; Loya, 2004). ליתר פירוט, מאז תחילת המאה ה-21 מסתמנת מגמת התאוששות שביטויה בעליות בכיסוי אלמוגי האבן וניצול המצע בשוניות (עד פי 1.6 מ-2004), כאשר לאתרי השונית הרדודה אחוזי הכיסוי הגבוהים ביותר (עליה הדרגתית מכ-40% לכ-55% כיסוי של הקרקעית ע"י אלמוגים), והאלמוגים בה הם גם הגדולים ביותר (שקד וחוב, 2014). אך למרות העלייה באחוז הכיסוי, ניכרת גם תמותת אלמוגי *Acropora* ו-*Stylophora* הנפוצים ביותר (שקד וגנין, 2013). מהיותם נפוצים, ירידה זו הביאה גם לעליה במדד מגוון המינים של השונית. במהלך העשור השני של המאה ה-21 נראתה גם ירידה במספר מושבות האלמוגים הקטנות בשוניות המערכת, המצביעה על ירידה בהצלחת גיוסם של אלמוגים חדשים לשוניות, וייתכן כי משקפת תופעה אזורית ולא דווקא מקומית.

ואמנם, גם אם סביר שרוב השינויים מקורם במגמת הפיתוח של העיר אילת, גם גורמים מחוללי שינוי שאינם מונעים על ידי פעילות זו, כמו ההתחממות הגלובלית ופלישת מינים זרים ואף מחלות טפיליות של אלמוגים, עשויים לתרום לשינויים ברכיבים רבים של המגוון הביולוגי. להלן יטופל בכל אחד מהגורמים להם הפוטנציאל לחולל שינויים אלה, גם אם כנראה לא ניתן לייחס בוודאות לכל אחד מהם שינוי ברכיבים ספציפיים של המגוון הביולוגי (Rinkevich, 2005).

3.2.1. גורמים מחוללי שינוי ישירים שאינם נגרמים על ידי האדם המקומי

(ראה סיכום גורמים מרכזיים באיור 11)

3.2.1.1. הביטויים המקומיים של שינויי אקלים גלובלי

עליות בטמפרטורה וחומציות המים, במפלס פני הים ובארועי קיצון של סופות אבק, סערות ים, תנודות במשרעת הכרית, כולן תופעות שנחזו ואף נצפו המיוחסות לתהליך ההתחממות הגלובלית, לה השפעות מקומיות גם על מערכת מפרץ אילת.

3.2.1.1.1. התחממות מי הים, החמצתם ועליית המפלס

עליה מתמשכת בטמפרטורות המים עלולה להביא לתופעת "הלבנת האלמוגים" (coral bleaching), שביטויה בהלבנה של צבע האלמוג הנובעת מאובדן האצות הסימביוטיות שבתאי הפוליפים (יצורי האלמוג), המקנות לאלמוג את צבעו הטבעיים, אך חשוב מכך, הן מספקות לו את מרב האנרגיה הדרושה לתפקודו, ולפיכך גורמת אף לתמותת הפוליפים המתירה שלדי אלמוגים מתים. תופעה זו התפתחה במהלך שנות ה-80 של המאה הקודמת ונצפתה בשוניות אלמוגים רבות ברחבי העולם (Fine et al., 2004).

(al., 2013). תופעה זו מיוחסת להתחממות מי הים ולהתעצמות קרינת השמש כתוצאה מתהליך ההתחממות הגלובלית. מגמת התחממות המים לא פסחה על מפרץ אילת, בשנת 2012 הטמפרטורה הממוצעת הייתה 24.1 מעלות, שמשמעה עליה בכמעט מעלה אחת מעל למוצע הרב שנתי (שקד וגנין 2013). אולם, הלבנת אלמוגים לא נצפתה עדיין בשונית המערכת; אפשר משום שההתחממות עדיין לא מספקת, אך סביר שתגבר במהלך השנים, או שלא אלמוגי מפרץ אילת (ובעיקר האצות הסימביוטיות שלהם) רגישות נמוכה (Fine et al., 2013) להתחממות, או יכולת הסתגלות להתחממות, יכולת שאמנם נתגלו בתחילת המאה ה-21 במספר שוניות ברחבי העולם (Coles & Brown, 2003). החמצת מי הים, שאין עדיין נתונים על התרחשותה במערכת מפרץ אילת אך תחזיות להופעתה, עלולה לפגוע בתהליכי בניית השלד הגירני של שוניות האלמוגים, וגם של המינים בעלי קשוות וקונכיית (Silverman et al., 2009; Fine et al., 2013). גם לעלית מפלס פני הים במערכת אין עדיין נתונים.

3.2.1.1.2 עליה בתדירות ועוצמת אירועי קיצון אקלימיים

אירועי קיצון כחורפים קרים במיוחד מביאים להעמקת שכבת הערבול בעמודת המים של מפרץ אילת וכך לאספקת-יתר של חומרי דשן למים העליונים (Genin et al. 1995) המזינה פריחת אצות מאסיבית בגוף המים ובקרקעית, באביב העוקב. פריחות כאלה נצפו בשנים 1961-1963, 1983 ובחורף הקר במיוחד ב-1991 וב-1992 שנגרם עקב התפרצות הר הגעש פינטובו שבפיליפינים והביא להתקררות עולמית (Genin et al. 1995). באביב שלאחר חורף זה, מרבד האצות החוטיות שציפה את שונית האלמוגים גרם לתמותת אלמוגים גדולה (Genin, Lazar et al. 1995). אירועי קיצון כסופות דרומיות חזקות הנושאות אבק מרחבי הערבה, מייצרות סערות ים הגורמות נזק פיסי לאלמוגים, בעיקר עד עומק 4 מ' (שקד וגנין, 2013) ומעכירות את המים העליונים. גם אירועי שיטפונות קיצוניים נושאי סחף קרקע תורמים לעכירות המים ולהערמת משקע בקרקעית באזור החוף הצפוני של המערכת. כל אלה מביאים לפגיעה במרבדי עשבי הים, אלמוגי השונית, וכל המגוון הביולוגי הנתמך על ידם (Loya, 2004) (Unsworth et al., 2012), והעליה בתדירות אירועי קיצון כאלה עלולה לגרום נזקים בקנה מידה גדול יותר.

3.2.1.2 פלישת מינים זרים

תעלת סואץ היא הגורם מחולל השינוי העקיף של פלישת מיני ים סוף לים התיכון, אך רק מספר זניח של מיני ים תיכון פלשו מים תיכון לים סוף, ואף לא ידוע על מיני ים תיכון שפלשו למערכת מפרץ אילת ולא מידע על שינוי משמעותי בהרכב המגוון הביולוגי של המערכת כתוצאה מפלישת מינים זרים. משטר הזרמים בתעלה טרם הרחבותיה נמצא ככזה המעודד תנועת פרטי מינים צפים ומרחפים ממפרץ סואץ לים התיכון יותר מאשר בכיוון ההפוך (Agur & Safriel, 1981). אך אפשר לתלות את ממדי הפלישה הזניחים מהים התיכון לים סוף גם בעצם היות המגוון הביולוגי של ים סוף עשיר מזה של מזרח הים התיכון, מה שמקנה לים סוף עמידות כנגד פלישות מינים זרים אילת וים סוף עשירות ומגוונות, סביר שעמידותן לפלישת מינים זרים תהא גבוהה באופן יחסי (Stachowicz et al., 1999) אמנם, פרטי שלשה מיני דגים זרים דניס, לברק ואמנון (Golani & Lerner, 2007) הוחדרו למערכת מפרץ אילת שלא במתכוון, ממתקני החקלאות הימית שבאזור החוף הצפוני. אך במהלך העשור השני של המאה ה-21 מינים אלה לא עלו בדיגומים שבוצעו במערכת (שקד וחובל, 2014).

3.2.1.3 מחלות טפיליות של אלמוגי השונית

מחלות טפיליות של אלמוגים זהו כ אחד הגורמים האפשריים למגמה של תמותת אלמוגים שנצפתה בשנים 2000-2003 (Loya, 2004). עד כה ידועות למעלה מ-30 מחלות אלמוגים, אך רק פחות ממחציתן זהו כמחלות טפיליות, היינו זהו הפתוגנים המחוללים אותן (Rosenberg & Kushmaro 2011). מאלה נצפו בשונית של המערכת אירועים של מחלות אלמוגים טפיליות. מחלת הפס השחור (BBD) הביאה להעלמות אלמוגים גושיים ממשפחת ה-Faviidae שבשונית במהלך מספר שבועות בלבד בחודשי הקיץ (Kramarsky-Winter et al., 2014); הדג *Exallias brevis* נמצא מתפקד כנשא של

פתוגן מחלת אלמוגי האש מהם הוא ניזון אך גם מדביקים במחלת ה- Multifocal bleaching המביאה להלבנתם (Zvuloni et al., 2012); והחילזון *Drupella cornus* הטורף אלמוגים מעונפים נתגלה כמעביר להם מחלות הגורמות לתמותה מסיבית שלהם (Shafir et al., 2008).

3.2.2 גורמי שינוי עקיפים, מידי אדם

3.2.2.1 דיג

דיג באזורי שוניות האלמוגים עלול לשנות את המבנה והממדים של המגוון הביולוגי שלהן. למשל, דיג מסיבי של דגים צמחוניים אוכלי אצות תפגע בתכסית האלמוגים, בהעדר הגורם המפנה אתרי התיישבות לפגיות האלמוגים (שקד וגנין 2013). ציוד דיג וכן רשתות דיג שהושארו בים, המכונות גם רשתות רפאים או "מחסן", לוכדים דגים אך גם ממימים, כרישים, צבי ים, ציפורי ים, סרטנים ועוד (שיינין וחוב', 2013). השימוש בשיטת דיג זה מתמעט, אך בשנת 2012 הוצאו מהמים שמול אזור החוף הצפוני יותר מ-1500 מ"ר של ציוד דיג כזה על ידי צוללנים ורשות הטבע והגנים (אתר הג"ס).

3.2.2.2 זיהום

בין 1969 ל-1980, התרחשו כשניים-שלושה אירועי זיהום בנפט גולמי בחודש כתוצאה מהפעלת מסוף קצא"א, הכוללת דליפות ממכליות. אלה זיהמו את השוניית (Loya, 2004) והחופים ולרוב הביאו לתמותת אלמוגים מאסיבית (דפני, 2000), אך ממדיהם ותדירותם צומצמה מאז שנות ה-70 עת הופעלה התחנה למניעת זיהום ים (אתר משרד הג"ס). בנוסף, מוזרמים למערכת שפכים של מי ים ממתקני תחזוקת דגי ים לרביה, גידול, ומחקר, ממתקני התפלה, ממזגני מלונות, ועוד, כאשר איכות מים אלה תחת בקרה של המשרד להג"ס. מי נקז של הערבה הדרומית והעיר אילת, וביוב עירוני מוזרמים למערכת, אך האחרון ברמות נמוכות ביותר מאז שנת 2005 כאשר מי הביוב המטופלים על ידי מכון טיהור הופנו להשקיה בערבה. למרות זאת נצפו תקלות, כמו דליפה של 500 קו"ב של ביוב גולמי שזלגו למערכת בשנת 2007. בשנות ה-70 וה-80 החל זיהום אשלגני וזרחתי עקב סטנדרטים נמוכים בהעמסת פוספטים ליצוא, בנמלי אילת ועקבה. זיהום זה הכפיל את ריכוזי הזרחות במערכת והעשרת יתר זו גרמה נזק לשוניית (דפני, 2000). אך החל משנות ה-90 רגולציה של פעילות הנמלים מזערה זיהום הזה לרמות אפסיות (Loya, 2004).

3.2.2.3 פיתוח פיזי

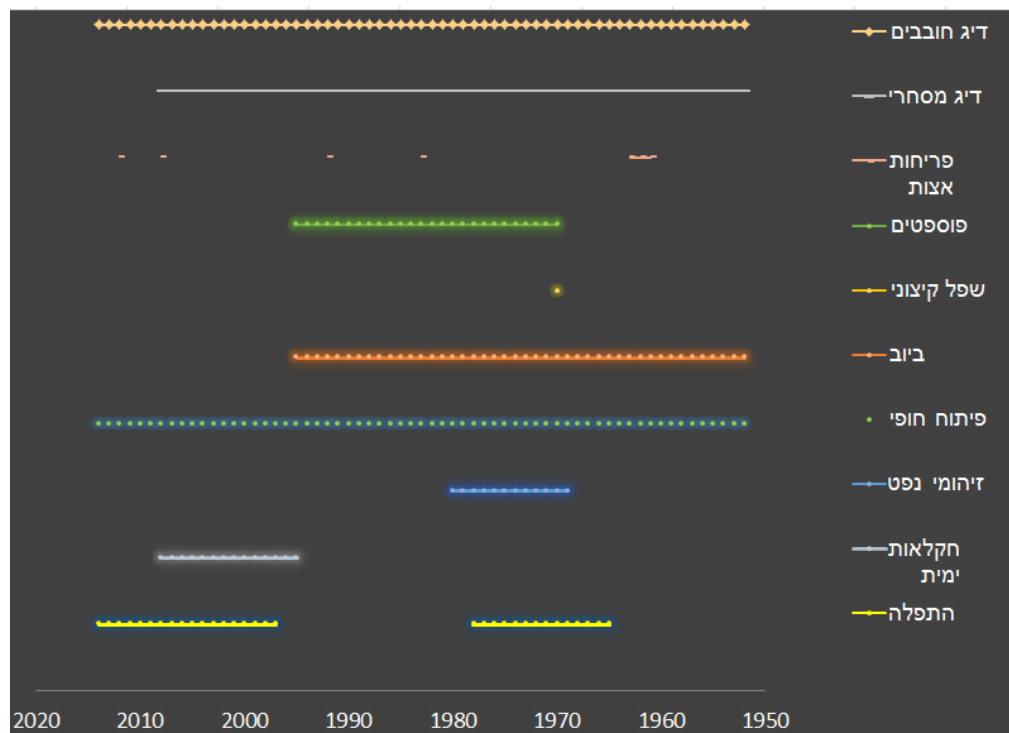
בכל אורך חופי המערכת התרחשו תהליכי פיתוח ובנייה למטרות נופש ותיירות, אך גם למטרות תחבורה ימית, צבאית ומסחרית, שהלכו והתעצמו מאז קום המדינה. העבודות בחוף שמחוץ לגבול המערכת אך גם באזור החוף של המערכת (תחומי הכרית העליונים) שכללו גם בניית שלשה נמלים (חיל הים ב-1951, מסחרי ב-1969 ונמל קו צינור (הנפט) אילת-אשקלון, קצא"א) ומרינה (בשנות ה-70)). פעילויות פיתוח אלה שכללו עבודת כלים כבדים, חפירה, פיצוצים, גרירת עוגנים, שרשראות וחבלים, גרמו לזיהומי נפט, שפכים ורעש, לפגיעות ישירות באלמוגים (דפני, 2000), להזרמת והרחפת משקעים שגרמה לתמותת אלמוגים (Loya, 2004) ואף לתמותת עשבי ים. כמו כן המבנים עצמם, כמצפה התת-ימי, מזחי הנמלים והשוניות המלאכותיות שנבנו במהלך השנים ומעודדים התיישבות אלמוגים המושכים גם מיני שוניית רבים (Rilov and Benayahu, 2000). אלה מתפקדים כגורם מחולל שינוי המערור מחלוקת באשר לתוצאותיו החיוביות או השליליות, בעיקר בהקשר להפקת שרותי התרבות של המערכת הנתמכים על ידי מבנים אלה (Shani et al., 2012).

3.2.2.4 מתקני התפלה

השפעת התפלת המים על המערכת כפולה: השאיבה מסירה ומחסלת כמויות של יצורי פלנקטון מגוף המים, ופליטת הרכז מגבירה את מליחות המים, בתוספת כימיקלים שונים. המתקן שהוקם בשנת 1997 שואב מהמערכת כ-6.5 מלמק"ש ומייצר כ-3.25 מלמק"ש המוזרמים אל צפון המערכת (מקורות, 2007), והשפעתם עליה אמורה להיות קטנה ומקומית (World-Bank, 2011). תכניות להולכת מי המפרץ לים המלח והתפלתם בפרויקט "תעלת הימים" עתידות להגדיל את הכמות הנשאבת עד לכ-2,000 מלמ"ק (World-Bank, 2011) ובכך גם את ממדי יצורי ומיני הפלנקטון שיוצאו מהמערכת.

3.2.2.5 צלילת מבקרים

שרותי התרבות של המערכת ניתנים להפקה באמצעות כניסת מבקרים למים בעיקר באזורי השוניות, עם מסכת צלילה ושנורקל או עם ציוד לצלילה עמוקה יותר. מבקרים אלה מגיעים רגלית מהחוף או באמצעות סירות המשליכות עוגן בסמוך לשוניות. עם כל אמצעי הזהירות, גם אם ננקטים, פעילויות אלה גורמות לשבירה פיזית של אלמוגים, בעיקר מעונפים ששלדם שביר ביותר, וגם להרחפת חול על פני השוניות, מה שמביא נזק לאלמוגים ולמיני קרקעית אחרים (Loya 2004). הוערך כי כ-150,000 צלילות בשנה מבוצעות על שוניות האלמוגים וכי בצלילה של 60 דקות בעומק 4-8 מ', הצוללים שוברים כ-1.7 אלמוגים ומרחיפים חול על השוניות כ-9.4 פעמים בממוצע. כך גם נמצא כי ככל שאתר הצלילה נתון ללחץ צלילה גבוה יותר כך גם שעור האלמוגים השבורים על קרקעיתו גבוה יותר. מידע זה משנת 1996 מצביע על לחצי צלילה אלה כגבוהים ביתר (Zakai & Chadwick-Furman, 2002), היינו – ביקוש-יתר לשרותי התרבות, או "צלילת יתר" בדומה ל"דיג יתר". חלק מהשינויים במערכת האקולוגית של מפרץ אילת נובעים מהשפעה משולבת של מספר גורמים מחוללי שינוי ישירים. דוגמא לכך ניתן למצוא בתמותה של 80-85% מאוכלוסיות אלמוגי האבן בשוניות החוגרת (הרדודה) שנים שלאחר האירוע (Loya, 2004).



איור 11: גורמים מחוללי שינוי נבחרים לאורך השנים במפרץ אילת. לא מצוינים כאן שינויים בעוצמת ההשפעה. עוצמה זו נמצאה במגמת עלייה בתוך טווח הזמן המוצג כאן עבור כל הגורמים מחוללי השינוי למעט הדיג המסחרי, שנמצא בדעיכה מאז שנות השמונים וכמעט שאינו קיים כיום.

3.3. מצב ומגמות באספקת שירותים

3.3.1. שרותי ויסות

3.3.1.1. ויסות איכות מי הים

3.3.1.1.1. מהות השרות

ראש מפרץ אילת מהווה אגן היקוות למקורות מים שונים הנושאים איתם מזהמים, מהם גם אלה הנובעים מפעילות האדם, מה שפוגע באיכות מי הים. תהליכים המתרחשים במערכת האקולוגית של מפרץ אילת מביאים לסילוק רבים מזהמים אלה, וכך מווסתת איכות מי המערכת. מקור רבים מהמזהמים הן המערכות החקלאיות של דרום עמק הערבה ששיירי הדשנים והריסוסים שבשימושן נשטפים ונסחפים לים באמצעות נגר עילי (בעיקר בשיטפונות המתנקזים באמצעות תעלת ניקוז פתוחה ("תעלת הקינט") העוברת במליחת אילת ומצאה למפרץ מצוי ליד הגבול עם ירדן. כך גם זורמים למי המפרץ מי נקז מהמערכת העירונית של אילת המכילים בעיקר זיהום אורגני במים שלאחר שימוש ביתי או זיהום כימי, כולל מתכות כבדות, שמקורו תעשייתי. בשנים האחרונות ההזרמות העירוניות ממוזערות למינימום, ומלבד גלישות ותקלות, הכיוב העירוני אינו מוזרם לים אלא למכון טיהור שפכים. אולם כאשר מתרחש זיהום אורגני עקב דליפות צנרת (שלאחרונה נדירות ביותר) הוא גורם להעתרה (עודף) של חומרי דשן במערכת הימית שעלולה לעודד פריחת אצות זעירות הפוגעות באיכות המים. מי הים מזדהמים גם בשמנים ובדלקים פוסיליים שמקורם בעיקר בפעילות הספנות והנמלים של אילת ואולי אף של עקבה. איכות מי הים מתבטאת אפוא בריכוז של תערובת מזהמים זו במי הים בהם היא נמהלת. ריכוז זה עשוי להיות מווסת כאשר רכיבים שונים של הזיהום מווסתים על ידי רכיבים שונים של המגוון הביולוגי הימי.

3.3.1.1.2. מנגנון השרות והמגוון הביולוגי המעורב בהפקתו

רכיב הזיהום העיקרי, שהוא חומר אורגני מרחף או מושקע, עשוי להיות מווסת בעיקר על ידי חיידקים ארוכיים במנגנונים ביוכימיים המפרקים את המולקולות האורגניות ליחידות הבסיס. זיהום בקטריאלי (אנטרוקוקים וקוליפורמים צואתיים), החבור למזהמים האורגניים, מסולק בעמודת המים בעזרת טריפה על ידי פרוטוזואה (חד תאיים) (Rozen & Belkin, 2006). מלבד המגוון הבקטריאלי הצורך ומפרק את החומר האורגני, החומר עשוי להיות נצרך ונצבר או מפורק גם על ידי המגוון הביולוגי העשיר, ששונית האלמוגים ועשבי הים של קרקעית המים הרדודים מספקים לו בית גידול. הפרוק נעשה על ידי האלמוגים עצמם או מינים מסננים כמו ספוגים, או מינים מלקטים, למשל דגים ניזוני פלנקטון שבעמודת המים או כאלה הנוברים בקרקעית. הזיהום הכימי נצבר גם ביצורים המרכיבים את המגוון הביולוגי העשיר המתקיים במערכת מפרץ אילת (Loya, 2004).

3.3.1.1.3. ממדי הפקת השרות, תועלות ומשתמשים

היות וצלילות המים גבוהה במיוחד ואיכות מי הים באילת מאפשרת רחצה במשך כל ימות השנה, ניתן לשער שהזיהום המגיע למערכת מווסת על ידי המערכת האקולוגית של המפרץ. למרות שלא נמצאו נתונים כמותיים על ממדי האספקה של שרות ויסות איכות המים במפרץ באמצעות המגוון הביולוגי של המערכת הימית ניתן להניח שתרומתו של שרות זה לאיכות הגבוהה של מי הים קטנה יחסית לזו של האמצעים שננקטו למניעת זיהום מי הים. גם בממדיו המתונים תועלתו של שרות ויסות מי הים באמצעות המערכת האקולוגית מתבטאת בתרומות בריאותיות, כלכליות וחברתיות. זאת משום שאיכות המים במפרץ היא תנאי בסיסי לביקוש של שירותי התרבות הרבים המופקים על ידי המערכת האקולוגית של המפרץ שכן הם מבוססים על הנאה מהמגוון הביולוגי הייחודי של המערכת ועל שהייה במחיצתו.

3.3.1.1.4 מגמות וגורמים מחוללי שינוי

הזיהום במפרץ עבר תמורות רבות במאה האחרונה. משנות החמישים עד סופה של המאה ה-20 חוותה העיר אילת פיתוח מואץ ששינה את איכות המים משמעותית, וזאת כתוצאה מדליפות דלק גולמי ממכליות בנמל הנפט הסמוך לשמורת האלמוגים, הזרמת שפכי ביוב אחרי טיפול בסיסי בלבד מהעיר המתפתחת במהירות, הזרמת מים מלוחים וחמים מתחנת כוח משולבת במתקן להתפלת מי-ים, העשרה במינרלים מנמל שטיפל בפוספטים ואשלג לייצוא, ועוד. גם ממדי הזיהום בחומרי דשן השתנו במהלך השנים. עד שנות ה-70 של המאה הקודמת, המים בצפון מפרץ אילת היו עניים בחומרי דשן שכן מקור מי הים שבמערכת הישראלית של מפרץ אילת הוא מי הים האדום העשירים יחסית בחומרי דשן. מים אלה מוסעים דרך מיצרי טיראן וזורמים משם צפונה לאורכו של המפרץ. ריכוז חומרי הדשן בהם הולך ופוחת במהלך נתיב זה, עד שריכוזם בראש המפרץ קטן ביותר (Levanon-Spanier et al., 1979); אך החל משנות התשעים בהן הותקנה חוות החקלאות הימית בחוף הצפוני של מערכת המפרץ הישראלית, אזור זה נעשה למקור אספקה של חומרי דשן, מה שהעלה את ריכוזם ברחבי המערכת (Erez et al., 2003).

חלק ניכר מהפעילויות המזהמות פסקו במהלך השנים וגם חוות החקלאות הימית הוצאה מהים כך שכמויות המזהמים כיום הינן קטנות בהרבה מבעבר. כיוון שהמערכת האקולוגית לא קרסה במהלך שנות הזיהום, ואיכות מי הים נשמרה ברמה טובה מרבית הזמן, יש להניח שממדי האספקה של שרות וויסות איכות המים ענו לביקוש שנוצר על ידי הזיהום. ובכל זאת, מאז הוצאו כלובי הדגים חזרו ערכי מספר מדדי איכות המים לערכים דומים לאלו שנמדדו לפני הצבת הכלובים (שקד וגנין, 2013), ומכאן שהמערכת לא יכלה לכל ההשפעות המזיקות. כשם שבמהלך השנים חלו בכמויות חומרי הדשן גם שינויים חבורים לשינויים עונתיים בהרכב המים, התלויים בעומק הערבול בחורף שעשוי להשתנות משנה לשנה (שקד וגנין, 2013) וגם כאלו שלא תלויים בו (Erez et al., 2003). כך גם קשה לקשר שינויים אלו באיכות המים לשינויים במגוון הביולוגי המעורב בהפקת שרות וויסות המים.

בד בבד עם השיפור במצב הזיהום בצפון המערכת, דוחות ניטור של עשורי המאה ה-21 מציינים כי מצב המגוון הביולוגי בשונית נמצא במגמת שיפור (שקד וחוב, 2014). זאת לעומת עדויות מוקדמות יותר לתמותת אלמוגים בשונית, לירידה באחוז הכיסוי של אלמוגי אבן, בקצבי הגיוס הירוואלי ובקצבי השקעת סידן, וכן קיום פריחות אצות מאסיביות בעונת האביב וירידה בממדי המגוון הביולוגי של השונית (Atkinson et al., 2004). בסקירת הידע הקיים על מצב השונית שהתבצעה לפני יותר מעשור נטען כי בשל איסוף נתונים לא נרחב, אחיד או רציף בין שנת 1975 ל-2000, קשה להגיע לכלל מסקנה חותכת לגבי הסיבות לשינויים הללו, ואף לגבי מידת השינויים שחלו באותה תקופה (Rinkevich, 2005).

לסיכום, גם אם לא ניתן לכמת שינויים מסוימים בממדי המגוון הביולוגי ובגורמים שחוללו אותם, איכות המים במערכת היא במגמת עליה וזאת בעיקר בגין מגמת הירידה בגורמי הזיהום, ומכאן גם מגמת הביקוש לשירות של ויסות המים נמצאת בירידה.

3.3.1.2 ויסות בליית החוף

3.3.1.2.1 מהות השרות

שרות זה הוא בבחינת גרסת המערכת הימית של שרות ויסות סחיפת הקרקע המתפקד במערכות היבשתיות. החוף הצפוני של מערכת מפרץ אילת הישראלית הוא חולי ברובו, ומעבר לו לכוון צפון נמצאים מישורי מלחה של דרום עמק הערבה. בין קו המים לבין המלחה נמצאות תשתיות של מלונות, טיילת, מזחים ומעגנות וחופי נופש חוליים. לאורך רוב החוף המערבי הארוך יותר שבתוך גבולות המערכת הישראלית משתרעת שונית האלמוגים שמשטחה נחשף באירועי שפל חריגים וחלק גדול ממנה

מהווה את שמורת האלמוגים. בקו המים מצויה במקומות רבים תכסית משטחי סלע (beachrock - חלוקים המוטבעים במשקע קשיח) נטויים לכוון הים, ולחילופין חופים מכוסים חלוקים, תוצאת בליה של רכס הררי סלעי של גרניט וסלעי יסוד אחרים, הממוקם בעורפו של החוף הצר יחסית, ועליו תשתיות כביש, מלונות, מבני ציבור וחופי נופש ותיירות. שני החופים חשופים לפעילות הגלים, בעיקר בעת סערות דרומיות, ועוברים בליה טבעית שממדיה לא מתועדים. בנוסף מתרחשת גם התחתרות של מדף היבשת אל תוך היבשת - תהליך גיאולוגי המתרחש בקצב האיטי של תהליכים גאולוגיים בשבר הסורי-אפריקאי (Tibor et al., 2010).

3.3.1.2.2. מנגנון השרות והמגוון הביולוגי המערב בהפקתו

שרות וויסות בליית החוף הצפוני כולו, וגם בחלקים מהחוף המערבי, מתבצע על ידי מרבד של עשבי ים, בעיקר מהמין ימון הקשקשים, המשתרע במורד קרקעית הים באזור נרחב בחוף הצפוני מול המלונות וחופי הרחצה בעומקים 5-35 מ', וגם במקומות שונים לאורך החוף המערבי בהם מרבד זה נפוץ פחות, ובעיקר באתרים ללא שונית אלמוגים. עשבי הים מלכדים את הקרקעית ומונעים סחיפה שלה בעזרת מערכת השורשים שלהם המייצבת את הקרקעית החולית אותה הם מכסים, צוברת ועוצרת את משקעי החול המובאים מהחוף אל תוך הים, ובכך מאיטה את גלישתו במורד מדרון היבשת. אספקת השרות על ידי עשבי הים מתבצעת לאורך כ-77% מאורכו של החוף הישראלי (Winters et al., 2017), וייתכן שהוא אף מאט את ההתחתרות. אלא שלפחות לגבי אזור החוף הצפוני, אספקת שרות זה אינה יעילה דיה שכן הרשויות נדרשות לייבא חול במשאיות מפנים היבשה, כנראה על מנת לאזן את אבדן החול החופי עקב בליית הגלים. לאורך כ-1.2 ק"מ של החוף המערבי, שרות וויסות בליית החוף מסופק באמצעות שוניות האלמוגים המספקות הגנה פיסיית על החוף הצר שבעורפה. זאת באמצעות מיתון פיסי של עוצמת גלי הים הנשברים על קיר השונית הפונה לים וממשיכים להאט עם התחככותם במשטח השונית המחוספס בהמשך תנועתם לעבר החוף.

3.3.1.2.3. ממדי אספקת השרות

הסיכון של סחיפת חופים כתוצאה מפגיעת האדם בשוניות ובמרבדי עשבי הים טרם נאמד, אך וודאי שהוא קטן ואינו משמעותי ביחס, לדוגמא, לאיים אוקיאניים נמוכים, מערכות מים אחרות כדלתאות של נהרות שבעורף החוף, המושפעות תדיר מהצפות ועלייה במפלס הים. מכאן שלשרות וויסות זה תועלות ותרומות כלכליות ותרבותיות קטנות בהגנה על תשתיות ונדל"ן על ובקרבת החוף ובאפשרות פעילויות על החוף לתושבי אילת, התיירים, המבקרים הרבים השוהים בחופים והעסקים הנסמכים עליהם.

3.3.1.2.4. מגמות

היות וממדי האספקה של השירות לא כומתו וערכו לא היה ידוע בעבר, לא ניתן לזהות מגמות באספקתו. רכיבים של המגוון הביולוגי של השונית נפגעו בשנות ה-70 של המאה ה-21 (ראה סעיף 3.3.1.1.4), אך אין כימות של ממדי הפגיעה הפיזית בקיר השונית ובשולחן השונית (המערבים במנגנון הפקת השרות), פגיעות שנמשכות גם בהווה על ידי צוללים (Zakai & Chadwick-Furman, 2002). גם עשבי הים נפגעו מקומית בשנות ה-90, בעיקר כתוצאה מפעילות כלובי הדגים, אך לא ידוע כיצד מגמות אלו השפיעו על שרות זה של וויסות בליית החוף. כל עוד הגורמים מחוללי השינוי פעילים, הפקתו של שרות זה תיפגע.

3.3.1.3. שרות וויסות אקלים גלובלי

3.3.1.3.1. מהות השרות והמגוון הביולוגי המערב בהפקתו

לפחמן הדו-חמצני חשיבות רבה בעיצוב טמפרטורת האטמוספירה, וזאת בהיותו "גז חממה" הסופג את קרינת החום המוחזר מפני כדור הארץ, מונע את זליגתו לחלל ובכך מחמם את האטמוספירה. ריכוזם של גזי החממה באטמוספירה גדל והולך החל מפריצתה של "המהפכה התעשייתית", מה שמביא לשינויי האקלים הגלובליים. שירות וויסות האקלים הגלובלי על ידי מערכות

אקולוגיות מתבצע בעיקר באמצעות מנגנון לכידת הפחמן ואצירתו בביומסה של המגוון הביולוגי בעמודת המים וכן בקרקעית. מנגנון זה מתבסס על התהליך האקולוגי התומך של הייצור הראשוני על ידי אצות מיקרו וחיידקים פוטוסינתטיים בגוף המים העליונים האוצר את הפחמן בביומסה. עם מותם, שוקעים אל הקרקעית היצרנים, וגם יצורים אחרים במעלה מארג המזון שניזונו עליהם בגוף המים. בקרקעית מתרחש תהליך אקולוגי תומך נוסף, מיחזור החומרים (ראה סעיף 2.4.1.1). שבעטיו חלק מהפחמן האצור בביומסה המתה מתפרק למולקולות אורגניות מסיסות ומרחפות בגוף המים וחלק נוסף - לחומר אורגני מת השוקע בקרקעית. כך כל יצורי המגוון הביולוגי הפוטוסינתטי של המערכת הימית גם אוצרים את הפחמן בגופם וגם "מזריקים" פחמן אורגני למאגר הפחמן (היינו, חומרי הדשן המסיסים שבמים) של גוף המים ושל הקרקעית (שבה חלקו הנוסף של המאגר - התרכבות האורגניות המושקעות).

3.3.1.3.2 ממדי הפקת השרות

במערכת מפרץ אילת נמצא קשר לינארי חיובי בין כמויות חומרי הדשן בגוף המים לממדי היצרנות הראשונית נטו, שכן, ברוב הזמן, פליטת הפחמן הדו-חמצני למים בתהליך הנשימה במפרץ קטנה משעור קליטתו בתהליך הפוטוסינתזה של מכלול היצורים הפוטוסינתטיים (Silverman et al., 2007). קליטת חומרי דשן ועיבודם על ידי אוכלוסיות פלנקטוניות במפרץ נחקרו היטב, והדינאמיקה של תפוצתם וסדר הגודל של מאגריהם ברורים למדי וקשורים לרוב בעומק ערבול המים המשתנה שנתית (שקד וגנין, 2013). היצרנות במפרץ הוערכה ב-0.04 מול פחמן למ"ר ליום בחורף ו-0.03 מול ליום בקיץ, וקצב קיבוע הפחמן מן האטמוספירה הוערך בכ-100 ג' למ"ר לשנה (Erez et al., 2003). קצב נמוך ואופייני לימים עניים בחומרי דשן, אך עדיין גבוה מזה שנמצא עבור המים הפתוחים בים התיכון (Berman et al., 1984) של 15-85 ג' למ"ר לשנה. בהינתן קצב זה, הקיבוע השנתי בשטח המים הפתוחים של המפרץ (23 קמ"ר) יהא 2,300 טון פחמן לשנה. כמו בים התיכון, גם במפרץ אילת מתגברים ממדי האספקה של שרות וויסות האקלים בחורף, במהלכו ערבול עמודת המים מעלה חומרי דשן למים העליונים ומביא לפריחות פלנקטוניות, היינו לגידול אוכלוסיית עונתי של יצורים פוטוסינתטיים.

בשונה מים תיכון, במערכת של מפרץ אילת נמצא רכיב מגוון ביולוגי של יצרנים ראשוניים בעל תרומה משמעותית ביותר לאספקת השרות בקרקעית הרדודה והקרובה לחוף שאליה חודר אור השמש. רכיב זה כולל את כל מיני האלמוגים בוני השונות (המחזיקים ברקמותיהם אוכלוסיות של יצורים פוטוסינתטיים זעירים) וגם עשבי ים, שיחד מבצעים לכידת פחמן מרובה במיוחד ליחידת שטח, ואף משקיעים את הפחמן שהם לוכדים בשלד האלמוגים ובעשבי הים בקרקעית שתחתם - לתקופות ארוכות. בשונות החוגרת (ראה סעיף 3.1.4.1 במבוא) בלבד, יצרנות נטו של 40 מילימול פחמן למ"ר ליום (Silverman et al., 2007) או 175 ג' למ"ר לשנה. הכפלה ב-56,000 מ"ר של שטח השונות החוגרת (800 מ' אורך, 70 מ' רוחב) נותנת קיבוע פחמן של 9.8 טון פחמן לשנה. בנוסף לכך, בהינתן קצב השקעה גירנית של 50 ג' קלציום קרבונט למ"ר ליום (Silverman et al., 2007), מבוצע גם קיבוע פחמן בשלד השונות החוגרת בקצב של 16.8 טון בשנה. אלו אמנם מספרים קטנים ביחס למפרץ אילת כולו, אך הם נגזרים בעיקר מהשטח הקטן מאד של השונות של המערכת הישראלית עבורו הם מחושבים. הערכת מקסימום לשטח של שני קמ"ר, עבור כלל השטח בחופים הדרומיים של המערכת בו מופיעים אלמוגים עד לעומק 50 מ' (רק בחלקו יש אלמוגים) מביאה ערכים מרביים של עד 438 טון פחמן לשנה לעומת 2,300 טון לשנה עבור המים העליונים. תרומה זו צנועה מול זו המופקת משטחי המערכת הישראלית של הים התיכון הגדולים בהרבה מאלה של המערכת הישראלית של מפרץ אילת.

גם עשבי הים לוכדים פחמן בקצב גבוה במיוחד וקוברים אותו במשקעי הקרקעית שמתחתם, מאחר והם גדלים כמרבד צפוף וגם נצרכים על ידי בעלי חיים אחרים בכמויות מועטות יחסית. למרות השטח הקטן שהם מכסים (פחות מ-0.1% משטח האוקיינוסים), עשבי ים אחראים לכ-1% מהיצרנות העולמית בים ולכ-20% מלכידת הפחמן העולמית במשקעים האוקייניים (Duarte et al., 2013). בממוצע, היצרנות הראשונית נטו של עשבי ים היא כ-404 ג' פחמן למ"ר, או 1.480 טון פד"ח (פחמן

דו-חמצני) לקמ"ר לשנה (Duarte et al., 2013). שימוש בערכים אלו עבור 2 קמ"ר של עשבי הים של המערכת הישראלית במפרץ אילת (Winters et al., 2017) יניב קיבוע של 2,960 טון פד"ח בשנה, מתוכם כ-800 טון פחמן. בנוסף, ל אצות שגדלות על גבי עשבי הים מפיקות יצרנות נוספת של כ- 20%-60 (Duarte 2013) כתלות בכיסוי עונתי, כך שערכים אלו הינם ערכים שמרניים.

3.3.1.3.3 תועלות

עשבי הים מווסתים גם את חומציות המים וכך מסייעים לשונית האלמוגים לבנות ולשמר את המבנים הגירניים של מיניה הרבים (Unsworth et al., 2012). תועלת זו חשובה לאור תחזיות עליה בחומציות הים במאה הקרובה בשל שינוי האקלים. לעומת זאת, פגיעה בעשבי הים עלולה לגרום לשחרור כמויות לא מבוטלות של פד"ח בחזרה לעמודת המים ולאטמוספירה (Orth et al., 2006). סכימת ערכי הקיבוע של השונית, גוף המים ומרבדי עשבי הים לעיל מעלה כי "ערכו" של שרות ויסות האקלים הגלובלי באמצעות לכידת פחמן של מערכת מפרץ אילת הישראלית הוא כ-3,500 טון פחמן לשנה; הערכה שוודאווה בינונית. כלל אזרחי ישראל והעולם כולו נהנים (אם גם לא מודעים לכך) מוויסות האקלים הגלובלי, שהשינויים בו כוללים גם את התחממות הימים ועליית פני הים. אך בהתייחס לממדיהם הקטנים יחסית של מערכת מפרץ אילת (שאף קטנה בשלושה סדרי גודל פחות מממדי המים הכלכליים של המערכת הישראלית בים התיכון), ממדי השירות קטנים בקנה המידה הגלובלי.

3.3.1.3.4 מגמות וגורמים מחוללי שינוי

קשה להעריך את התמורות באספקת שירות זה כיוון שחסר מידע על ממדי השרות בעבר ועל השפעתם של גורמים מחוללי שינוי שונים על אספקתו. ידוע כי החמצת מי הים וההתחממות הגלובלית משפיעים בעצמם באופן שלילי על האלמוגים שתורמים לשירות זה, אך אלמוגי האבן של שונית מערכת מפרץ אילת רגישים פחות מאשר במרבית שוניות האלמוגים בעולם לתופעת ההלבנה (bleaching), שנגרמת עקב ההתחממות (Fine et al., 2013). גם שינויים בכיסוי עשבי הים (כמו היעדרם מול פתח תעלת הקינט המובילה מים מזוהמים למערכת, או בשטח בו היו בעבר חוות הדגים ושאליו הם שבים לאחרונה) עשויים למתן במידת מה את ממדי לכידת הפחמן באזור החוף הרדוד של המערכת (שכן ממדי השטחים מהם נעדרים עשבי הים קטנים למדי). לסיכום, משום העדר מידע מספיק על ממדי אספקת השרות בעבר, ועל פעילות הגורמים שהיו עשויים לחולל שינוי באספקתו, לא ניתן לזהות מגמה ברורה באספקת שרות זה.

3.3.2 שרותי אספקה

3.3.2.1 אספקת דגה

3.3.2.1.1 מהות השרות, המנגנון, המגוון הביולוגי המעורב בהפקתו והמשתמשים

מערכת מפרץ אילת מאכלסת רכיב של המגוון הביולוגי הנצרך על ידי האדם, הדגה. מיני הדגה המוצאים מהים במגוון שיטות ומהווים מינים מסחריים עיקריים כוללים דגי חרב, מקרלים וטונה במים העליונים, וסיכן (אראס), לוטיין (שורי), מוליות (ברבוניה), ברקודות (מליטה) ואחרים בקרקעית. מיעוטם דגי שונית ומרביתם טורפים בגוף המים. מגוון ביולוגי רחב בפלנקטון (בגוף המים) ובבנתוס (בקרקעית) תומך בשירות הזה, בעיקר בהיותו מזון לדגים. למנגנון הפקת שרות אספקה זה תלות ישירה במגוון ביולוגי ימי עשיר ביותר, ומלאי הדגה שהמערכת מתחזקת מאפשר צריכת דגי ים טריים מייצור מקומי על ידי תושבי האזור, גם אם בכמויות זעומות. בנוסף, הדיג מספק דגים למזון בעלי החיים במצפה התת ימי ובריף הדולפינים.

3.3.2.1.2 ממדי הפקת השרות, והמשתמשים

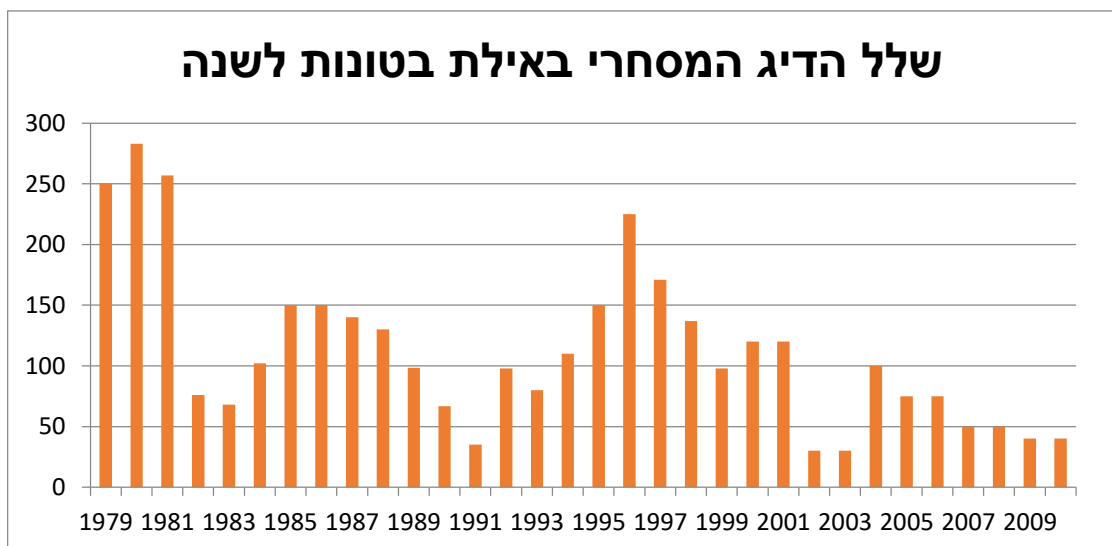
הדיג כיום הוא מקור פרנסה והכנסה משמעותי לכחמישה דייגים מסחריים בלבד, אך רק אחת מחמש סירות הדיג פעילה דרך קבע. ממדי המערכת הישראלית מצומצמים מכדי לאפשר ממדי דיג גדולים הרבה יותר. בנוסף, שטח באורך 2 ק"מ וברוחב

300 מ' מול נמל קצא"א ושטח נוסף של שמורת הטבע אסורים לדיג. אך בעוד הדיג המסחרי מצומצם ביותר כיום, הדיג החובבני פורח, דיג לו תועלת תרבותית של פנאי ונופש לאלפי דייגים חובבים, וכלכלית לכמה עשרות בעלי סירות שמשכירים להם את שירותיהם. דיג החובבים בחכה מהחוף מתבצע לאורך חופי המערכת המותרים לדיג (החל מ-500 מ' מהחוף ורק שלש חכות לסירה). דיג זה אף נפוץ למדי באזורי שוברי הגלים (אם כי קיים חוק עזר עירוני שלא נאכף על איסור דיג במרינות). ממדי הדיג החובבני נמצאים במגמת עלייה שהחלה עם פיתוח התיירות בשנות ה-90 (אדליסט, ראיונות עם דייגים), ונמשכת במקביל לעלייה בכלל הדיג החובבני בישראל (רוטשילד, 2013).

הוא מותר החל מ 500 מ' מהחוף ומותר בו שימוש בעד 3 חכות לסירה.

3.3.2.1.3. מגמות וגורמים מחוללי שינוי

בשנות ה-50 וה-60 נידוגו מאות טונות של דגי מקרל וטוניות במפרץ, וקבוצות דייגים רבות (מעל עשרים סירות) התפרנסו מלהקות ענק שלהם שהיו פוקדות את חופי המפרץ מדי אביב (דפני, 2000); אך לא ברור אם נתונים אלה מתייחסים לכל מפרץ אילת או רק למערכת הישראלית של המפרץ). לאחר חתימת הסכם השלום עם מצריים והגבלת הדיג למערכת הישראלית בלבד, צלל שלל הדיג המסחרי מכ-250 טונות בסוף שנות השבעים (שריג, 1982) ל-20-50 טונות בלבד בשנים האחרונות (איור 12) (נתוני משרד החקלאות; (Tesfamichael, 2014).



איור 12: שלל הדיג המסחרי באילת (בטונות), בהתבסס על שנתוני אגף הדיג ודיווחים ל FAO (Tesfamichael et al., 2012).

ערכו השנתי הממוצע של השלל המסחרי בעשור הראשון של המאה ה-21 היה כ-2 מיליון ש"ח בשנה. בשנות ה-80 ועד אמצע שנות ה-90 עדיין היו מעל לעשרים סירות דיג פעילות באילת. חלקן עבדו בשיטת "מחסן" שהניב ביום דיג טוב עד מספר טונות של להקות דגי מים עליונים (בעיקר צניניות, אינטיאסים ומקרלים) שנמשכו אליהם. עד שנת 2007 עוד היו 12 בעלי רישיונות (8 סירות פעילות) באילת, אך לאחר מכן צומצם מספרם ל-5 וכיום פועלות רק 4 סירות. לאורך החוף המערבי הדיג מותר רק במים הפתוחים החל מ-300-500 מ' מהחוף.

כיום כמות המעורבים בדיג החובבני גדולה בשני סדרי גודל ממספר העוסקים בדיג המסחרי ונמצאת במגמת עלייה. מלבד הדייגים המשליכים חכה מהחוף (הדיג ברובה תת ימי בצלילה באילת אסור), כחמישים כלי שיט עוסקים בדיג ספורטיבי ברמות

מאמץ ומקצוענות שונות, בעיקר בקיץ. דיג החובבים כולל בעיקר עגינה והורדת חכות לקרקעית, ללכידת ספרוסים (פארידות), דגי שורי ודקרים, ובמידה פחותה (אך במגמת עליה) צניניות, ברקודות, פלמידות (מקרלים גדולים), טוניות ודגי חרב בגוף המים. אלפי דייגים חובבים מהים התיכון אמנם עשויים להגיע מדי פעם לדוג גם באילת, אך אין מידע טוב לגבי כמויותיהם או לגבי המינים שהם דגים במפרץ, כך שקשה לבצע מעקב אחר המגמות.

גורמים רבים, מרביתם חיצוניים (גיאופוליטיים, כלכליים, שינויי אקלים ושינויים אוקיאנוגרפיים מקומיים כגון זיהום, או עונתיים כמו עומק הערבול או פריחות פלנקטוניות) משנים את היצע אספקת הדגה ואת הביקוש באמצעות מאמץ הדיג שהיה במגמת עלייה מקום המדינה עד שנות השמונים וירידה מאז, וזאת במקביל לעליה בדיג החובבים ואף עלייה חדה בדיג במים העליונים בחלק הירדני של המפרץ (Tesfamichael et al., 2012).

בעבר עלה הייצור בחקלאות הימית באילת בהדרגה מ-963 טון ב-1996 עד לשיא של 3353 טון בערך של 15-20 מיליון דולר לשנה (שפירו, 2008). בשנת 2008 הוצאו הכלובים האחרונים ממפרץ אילת בעקבות החלטת ממשלה, בתגובה לחשש לשינויים שלייליים במערכת כולה (ראה קופסה 1: תולדות החקלאות הימית במערכת מפרץ אילת ולקחיה).

3.3.3. שרותי תרבות

3.3.3.1. התנסות אקטיבית שתועלתיה פיזיות: תיירות, פנאי וספורט

3.3.3.1.1. מהות ומנגנון השרות והמגוון הביולוגי המעורב בהפקתו

בתפקודם כמערכת אקולוגית תומכים הים וחופיו, באמצעות המגוון הביולוגי שלהם, בספקטרום רחב של פעילויות פיזיות שלכולן תועלות התורמות לבריאותם הפיזית ואף הנפשית של המבקרים בהם (Frost et al., 2011). חופי מערכת מפרץ אילת של ישראל מהווים מוקד לביקורים של מיליוני נופשים מישראל ומחו"ל בכל שנה. אלה עוברים התנסויות אקטיביות מגוונות עם הים וחופיו, שהם חווים באמצעות מגוון רחב של פעילויות: החל מצפייה בים מבתי קפה ומלונות, התבוננות בים תוך רביצה, ישיבה והליכה בטיילת או על החוף, דרך פעילות גופנית בחוף וכלה בפעילויות הרבות הנעשות בגוף המים. אלה כוללות טבילה ורחצה בים, שחיה להנאה או כפעילות גופנית, שנירקול וצלילה לשם צפייה בנוף התת-ימי ומגוון מרשים של פעילויות על פני המים, כולל ספורט ימי חובבני ומקצועי המתבצע באמצעות גלשנים, מפרשיות וכלי שיט אחרים, גם ממונעים, וכן תיירות שיט ענפה, שחלקה נסמך על צפייה במגוון הביולוגי, בין אם דרך מסיכה, קרקעית שקופה של סירה או על קרס דיג.

בכדי לאפשר קיום שירותי תרבות, על המגוון הביולוגי לאפשר את ההתנסות הזו במלואה, דרך קיום שוניות אלמוגים צבעוניות עם מיני דגל, דגים רבים, ובעלי חיים שאין לראותם בישראל אלא במערכת זו בלבד (כצדפת הענק, Tridacna ודג השושון האילתי, למשל). מכאן שלצלילה באילת תפקיד מהותי בתיוגה כיעד תיירות, פנאי וספורט לאומי ובינלאומי, וזאת גם משום שבאילת ניתן לבקר מתחת למים ולצפות בשוניות האלמוגים המרהיבות גם בלי לצלול או לצאת לים, למשל במצפה התת ימי-אתר הטבע הגובה את מחיר הכניסה הגבוה ביותר בישראל, ובכל זאת מבקרים בו מאות אלפי מבקרים כל שנה. ניתן אפילו ליהנות מארוחה במסעדה מול הנוף התת ימי, ואף לחזות בדולפינים או לשחות איתם בריף הדולפינים.

3.3.3.1.2. ממדי הפקת השרות, ומשתמשים

כמחצית מליונות הישראלים בבתי מלון בישראל מתרחשות באילת (חייט, 2013), והחל מ-1997, באילת גם המספר הגדול ביותר של חדרי מלון. ככל הנראה עקב היציאה מסיני, מספר זה הרקיע מ-3,900 חדרי מלון ב-1990 לכ-10,000 בשנת 2000, אך מאז הואט הקצב וב-2012 היו 11,000 חדרים בעיר (חייט, 2013). סך הפדיון במלונות אילת הינו כרבע מסך הפדיון בישראל וגבוה מכל עיר אחרת - 2.32 מיליארד ₪ בשנת 2013, מתוכם 1.97 מיליארד ₪ מתיירות פנים (חייט, 2013). שונית האלמוגים האילתית הינה מגנט התיירים העיקרי (Polak & Shashar, 2013), וזו המספקת את שירותי התיירות

המשמעותיים ביותר בישראל. חוף שמורת האלמוגים זוכה בעשור השני של המאה ה-21 לכ-110,000 ביקורים בשנה, מתוכם כ-73% של ישראלים (חייט, 2013). עבור אירופה, שוניות ים סוף הן מה שהאיים הקריביים מהווים עבור צפון אמריקה (Cesar, 2003), וכ-16% מהתיירים המגיעים לישראל מחו"ל (מרביתם אכן מאירופה) מבקרים באילת.

מחקרים רבים מצאו כי צוללים נוטים לייחס חשיבות רבה הן לחוויית הצלילה עצמה (צלילות מים) והן לנוף הכולל של שוניות האלמוגים ודגיהן (Polak & Shashar, 2013). התועלת מפעילות צלילה באילת הוערכה באמצעות שיטת ההערכה המותנית (CVM) (Wielgus et al., 2003) ונאמדה בכ-2.86\$ מיליון; כאשר בממוצע, הצוללים היו מוכנים להוסיף 2.6\$ לצלילה אילו מגוון האלמוגים והדגים היה גבוה מהמגוון הנוכחי. לשם השוואה, הערך המוסף במחקר זה עבור צלילות המים היה 1.2\$ לצלילה בלבד. כן נמצא כי הצוללים היו מוכנים להוסיף תשלום מועט מאד עבור שיפור קל במצב השונית, אך שיפור של 50% ומעלה הכפיל את הסכום (Wielgus et al., 2003). כמו כן נבדקה גם נכונות צוללים לשלם תרומה לקרן שתספק רכיבים מבוקשים של מגוון ביולוגי בשוניות המלאכותיות שבמערכת (Polak & Shashar, 2013; ראה הדמיה באיור 13).

מחקר זה בחן את השכיחות (כמות הדגים והאלמוגים), העושר (מספר המינים) ומגוון המינים (שילוב של שניהם) במספר ערכי נוף תת ימי, (שוניות אלמוגים, דגים בקרבנות, ושניהם יחד, כולל שוניות מלאכותיות). נמצא כי צוללים היו מוכנים לשלם עבור כל עלייה במדד של מגוון המינים (ולא במדדי השכיחות והעושר) של דגי ואלמוגי השונית, ונכונותם לשלם נמצאה כבין 35-10 ש"ח בממוצע בשנה לשמירה על שוניות ברמה נמוכה יחסית, 15-50 ש"ח לשמירה על שוניות ברמה בינונית ו-25-70 ש"ח לשוניות ברמה גבוהה. כמו כן, הנכונות לשלם עבור שמירת שוניות אלמוגים הושפעה באופן מובהק על ידי ממדי המגוון הביולוגי בשונית, ולא בהכרח מתכונותיה הפיסיות (שוניות מלאכותיות מול שוניות טבעיות) (Polak & Shashar, 2013).



איור 13: צילום והדמייה של מערכת אלמוגים מלאכותית עם מגוון ביולוגי גבוה (משמאל) לעומת מצב נעדר רכיבים ביולוגיים (מימין). באדיבות עומר פולק (מקור: Polak and Shashar 2013).

מרבית המועדונים, המדריכים והצוללים בישראל נמצאים באילת. ע"פ הערכה מ-1996 (אין בידינו נתונים עדכניים יותר). מרבית הצלילות, מעל ל-250,000 בשנה, התבצעו בשונית האלמוגים שבמערכת ים-סוף (Zakai & Chadwick-Furman, 2002). סך כל הסמכות הצלילה בישראל (כולל קורסים מתקדמים) עלה בהדרגה מכ-10,000 בשנת 2008, למעל 18,000 ב-2013 (אדם קונסטנטינובסקי, מנכ"ל רשות הצלילה הספורטיבית, מידע בע"פ), מספר נמוך במקצת מזה של פלורידה וגבוה מזה של קליפורניה, (DEMA, 2013), שאוכלוסייתן והשטה שתופסות שוניות האלמוגים שלהן גדולים בהרבה. ההערכות השמרניות הן של כ-1.2-3.5 מיליון צוללים פעילים בעולם כולו (Davidson, 2007). היינו, למרות שאוכלוסיית ישראל מונה כ-0.1% מאוכלוסיית העולם, נמצאים בה כ-1-2% מהצוללים הפעילים. מכאן שלשונית האלמוגים של מערכת ים-סוף הישראלית, על המגוון הביולוגי שלה, חלק נכבד בענף הצלילה בפרט ובאתוס הלאומי בכלל.

3.3.3.1.3 תרומת התועלות לרכיבי רווחת האדם

המפגשים הפיזיים של ספורטאים מקצועיים וחובבים עם מערכות אקולוגיות, נופים ימיים והמגוון הביולוגי מעצימות את חוויית הים שלהם ומגבירות ההנאה ממנה, ומספקות גם תרומה בריאותית עבור הגוף והנפש ותרומה לתרבות הפנאי והנופש. הביקור בים על כל צורותיו מספק גם תרומה כלכלית (תעסוקה ורווח), דרך המלונאים, מפעילי התיירות החופית והימית, יבואני, יצרני משכירי ומוכרי ציוד צלילה, דיג, קיט, גלישה ושיט. באילת אמנם הצלילה דומיננטית, אבל שחיינים, שייטים, חותרים, גולשים (כולל מדליות אולימפיות ואליפויות עולם לגולשים מאילת), דייגים חובבים וכמובן הרוחצים עשויים להיחשב כעוסקים בפעילות גופנית שבצידה תועלת מהמצאות בחיק המערכת האקולוגית. עבור הדיג כתחביב קיימים פחות נתונים מאשר על הצלילה כתחביב. בעוד מספר הדייגים החובבים בישראל כולה הוערך בכ-70,000 (רוטשילד וחוב', 2013), לא ידוע כמה מתוכם מגיעים לדיג במפרץ אילת. עם זאת הדיג במפרץ אילת כיום מתפקד כשירות תרבות הרבה יותר משהוא שירות אספקה, שכן דיג החובבים כולל כמות משתמשים וכלי שיט גבוהה בסדרי גודל מאשר הדיג המסחרי. מכל אלה עולה שמספר הנהנים מהתועלות התרבותיות הנובעות משירותי המערכת האקולוגית של מפרץ אילת גבוה, ושחלק גדול מאלה המשתמשים בים וחופיו אכן משתמשים בשירותי התרבות של מערכת זו. חלקו של המגוון הביולוגי בהפקת שירותי התרבות של המערכת האקולוגית הזו מתבטא בתרומת התועלות לרכיבי רווחת האדם, במספרי הנהנים מתועלות אלה, ובמגמות בהפקת התועלות והגורמים שחוללו אותן.

3.3.3.1.4 מגמות וגורמים מחוללי שינוי

ממספר מחקרים בסוף שנות התשעים (דפני, 2000; וראה אחרים שם) שתיעדו פחיתה באוכלוסיות ומספרי מינים של המגוון הביולוגי של השונית וגוף המים בקרבתה, לרוב באמצעות התרשמות ותצפיות אך ללא מחקר כמותי. אבל אלה הצביעו על מגמת שינויים שליליים במגוון הביולוגי של המערכת: אלה כללו כמה מיני אלמוגי אבן ושושנות-ים עם דגי השושנון (שנעלמו מהלגונה שבעורף השונית בשמורת האלמוגים), כמה מיני סרטנים (כולל לובסטרים) ורכיכות (כולל צדפות-ענק), מינים רבים של קווצי-עור, אוכלוסיות כמה מיני כרישים וגיטרנים של קרבת החוף שהידלדלו, ופחתו גם מיני דגי גרם צבעוניים רבים. במקביל, תועדה דווקא מגמת ירידה בזיהום (למשל בנפט, בפוספטים), ובנוסף, חוות הדגים שעלתה בזמנו לכותרות כגורם פוגע משמעותי בפוטנציאל ההפקה של שירותי התרבות פסקה מלהתקיים.

אין בידנו נתונים מספקים באמצעותם ניתן לזהות את השפעת המגמה שחלה באיכות מי הים כגורמת למגמת השינויים במצבו של המגוון הביולוגי במהלך השנים, ומכאן גם את השפעתם על ממדי הפקת שירותי התרבות כפי שמתבטאות בממדיה של התיירות, כמפיקת הביקוש לשירות תרבות זה. סביר כי גורמי ממדי התיירות על סוגיה הם בין הגורמים מחוללי השינוי העקיפים - גיאופוליטיים (כאירועים ביטחוניים), דמוגרפיים (גידול אוכלוסיית ישראל) חברתיים (גידול בזמן הפנוי) וכלכליים (צמיחה כלכלית). הפיתוח החופי והימי הוא מוכוון תיירות (מלונות, טיילת, מרינה, מצפה תת ימי ומבנים שונים), ולכן תורם לביקוש לשירות, אך גם עלול לפגוע בהיצע השרות באמצעות המגוון הביולוגי. זאת עקב זיהום המערכת בשפכים ופסולת מוצקה או בסחיפת חול ומשקעים אחרים למים בעקבות פעולות בניה. לפני יותר מעשור, כמויות חומרי דשן במים, וכן שבירת אלמוגים על ידי צוללים ומשנרקלים, נמצאו כגורמים מחוללי השינוי הישירים שהביאו לירידה בשיעור תכסית האלמוגים החיים בחמישה אתרים רדודים במערכת (Wielgus et al., 2004). אך לאחר מכן, מגמת הירידה בזיהום בחומרי דשן, ייתכן וחוללה את מגמת ההתאוששות בכיסוי האלמוגים ועשבי הים שנצפתה בעשור האחרון (שקד וחוב', 2014). לעומתה, מגמת הפחיתה באלמוגי השונית עקב שבירתם ברגלי הצוללים מצביעה על ממדי ביקוש לשרות התרבות הפוגעים בממדי הפקתו, היינו ניצול-יתר של השרות. לסיכום, מצבו של המגוון הביולוגי של המערכת תורם רבות להנאה הכוללת המופקת מהמפגש הבלתי אמצעי עם המערכת האקולוגית של מפרץ אילת. אך מגמות השימוש בשרות זה המתבטאות בממדי התיירות שכיוונם השתנה במהלך

השנים מקום המדינה ועד עתה, מושפעות מגורמים מחוללי שינוי עקיפים, שאף חוללו גורמים מחוללי שינוי ישירים ומגמות שינוי במגוון הביולוגי המעורב בהפקת השרות.

3.3.3.2. התנסות פסיבית שתועלתיה מופשטות - הנאה מנופים, השראה (רוחנית, דתית, יצירתית),

תרבותית), זהות, מורשת ותחושת שייכות למקום

3.3.3.2.1. מהות השרות מנגנון הפקתו, והמגוון הביולוגי המעורב בו

התנסויות ויזואליות ורוחניות של אנשים עם מערכות אקולוגיות, נופים ימיים והמגוון הביולוגי המרכיב אותם, תורמות לתחושות הזהות של תושבים עם המקום בו הם נמצאים: תצפיות חוזרות במערכת אקולוגית שתכונתיה הנראות נשמרות לאורך זמן כמו המערכת הימית מקנות תחושת בית לאדם בים או לחופו. יצירת חוויות חיוביות עם המערכת האקולוגית הימית עשויה לתרום לביסוס נופי ים וחופים וכן מיני דגל כחלק מן המורשת, הזהות ותחושת השייכות הישראלית.

3.3.3.2.2. מנגנון והמגוון הביולוגי המעורב בהפקת השרות, המשתמשים

המגוון הביולוגי הימי המעורב בהפקת שירותי תרבות פסיביים דומה לזה שמעורב בשירותי התרבות האקטיביים, כאשר בעיקר אופן המגע עמו משתנה. חיבור האדם לטבע הימי עשוי להתרחש גם דרך הסברה, חינוך או אף אומנות, ומתרחש במערכת ים סוף במגוון דרכים ייחודיות. תחרויות צילום תת ימי בינלאומיות של המגוון הביולוגי נערכות מדי שנה במפרץ והתמונות המרהיבות משמשות מקור להשראה והגברת הערכת האדם לטבע. המערכת האקולוגית בולטת לעין בדפי מידע ובברושורים בטיסות בישראל ואליה ובכל לובי בבתי המלון של אילת, בציורים על מבני הנמלים ומבנים אחרים לאורך כבישיה ובפסלים שבכירות, בשמות הרחובות ובהיצע הציוד של החנויות בעיר - כל אלו הנם חלק ממיטוג העיר כמוקד תיירותי לאומי ועולמי, בעיקר בזכות המערכת האקולוגית הימית הטרופית הייחודית שלה. סביר שככל שהמגוון הביולוגי הימי הינו גבוה, אסתטי או ייחודי לחופי הארץ, הוא עשוי לשפר את תחושת השייכות למקום של המבקרים במערכת הימית ומפרץ אילת, המאכלס את אחת משוניות האלמוגים הצפוניות והעשירות בעולם (Loya, 2004). הטכנולוגיה, דרך צילום תת ימי, תקשורת ההמונים והאינטרנט, ולאחרונה בעיקר הרשתות החברתיות, מביאה את המערכת האקולוגית הימית במפרץ גם באופן מקוון למסך, לתודעה, ולליבותיהם של אזרחי ישראל, ואמצעים אלו מהווים זירה חדשה ומלהיבה לביטוי אומנותי שנסמך על המגוון הביולוגי הימי.

המערכת הימית האילתית עשויה לתרום להנאה אסתטית, רוחנית ונפשית של כלל תושבי המדינה מהתבוננות, אמצעות או בלתי אמצעית, במערכת האקולוגית הזו על חופיה ונופיה, גם אם ממדי "ההנאה" לא נבדקו (או אינם ברי בדיקה). סביר להניח שבתת המודע הקולקטיבי הישראלי, לעצם קיומה של מערכת טרופית תת ימית כזו, המגבירה משמעותית את המגוון הנופי הקיים בישראל, תרומה מהותית ליצירת תחושת שייכות, מורשת וזהות, גם אם המידע על כך עדיין לא קיים. אותם גורמים מחוללי שינוי במגוון הביולוגי שנזכרו עבור התנסות אקטיבית ישימים גם עבור תועלות מופשטות. אין מידע למגמות בביקוש ובהפקת היצע של שרות זה, אך סביר שהגורמים מחוללי השינוי באספקת שרות זה זהים לאלה המחוללים שינויים באספקת שרות ההתנסויות האקטיביות של תיירות ופנאי.

3.3.3.3. התנסות אקטיבית שתועלתיה אינטלקטואליות: מחקר וחינוך

3.3.3.3.1. מהות ומנגנון השרות, המגוון הביולוגי המעורב

המגוון הביולוגי הטרופי של המערכת, על שלל יחסי הגומלין שלו עם האדם ועם שאר רכיבי המערכת, מספק כר מחקר פורה ופלטפורמה לחינוך. פירות המחקר והידע הנצבר אמורים לשמש לקירוב תלמידים, אזרחים ומנהלים למערכות טבעיות אלה על המגוון הביולוגי שלהן, לחינוכם לשמירה עליו, להערכת חשיבותו הכלכלית, הבריאותית והתרבותית של מגוון ביולוגי זה,

ושרותיו התורמים לקיימות הפיתוח. מידע רב, חינוכי ומדעי כאחד, נפוץ היום גם דרך האינטרנט וברשתות החברתיות ותורם להעשרת והעמקת ההבנה של המבנה והתפקוד של המערכת האקולוגית הימית. המחקר עשוי להתבצע בהפלגות מחקר ייעודיות, באקווריומים או במעבדה ומול המחשב, בניתוח דגימות או תצלומים, בצלילה בשונית האלמוגים או בדגימות במים הרדודים עם מסיכה ושנורקל. כל אלו ואחרים אמורים להניב פרסומים מדעיים ולהעשיר את הידע האנושי. מפגש חינוכי ישיר עם המגוון הביולוגי הימי עשוי לכלול סיור והרצאה בשטח, מגע בלתי אמצעי עם הטבע הימי ואף דגימת בעלי חיים או צמחים לניסויים בעלי ערך חינוכי. יציאה של נוער לחופיה של מערכת ים-סוף בין אם לשם רכישת הבנות ותובנות על עולם החי של המערכת, ובין אם לפעילויות פנאי וספורט ימי (כשחיה, גלישת רוח או עפיפון), עשויה לקרב את הנוער למערכת האקולוגית בעקיפין. מספר תכניות חינוך המתבצעות בעיקר בשוניות האלמוגים, באמצעות סיורים, דיגומים, מבצעי ניקיון ועוד, מעשירות את ידיעותיהם על המערכת הימית, המגוון הביולוגי שלה, ותועלתיו.

בנוסף על ביקורים רבים מגופי חינוך ומחקר המגיעים למערכת מפרץ אילת מרחבי המדינה, בעיר אילת עצמה גופי חינוך ומחקר שהמערכת הימית היא אחת מהבמות החשובות לפעילותם. אלה הם המכון הבינאוניברסיטאי למדעי הים, קמפוס אילת של אוניברסיטת בן-גוריון, רשות הטבע והגנים בשמורת האלמוגים והמצפה התת ימי המפעילים תכניות מחקר וחינוך לשמירת טבע, המעבדה הבין לאומית לחקר הדולפינים בריף הדולפינים, החברה להגנת הטבע ובי"ס שדה אילת, מכון ערבה ללימודי סביבה, בית ספר תיכון גולדווטר (מגמה למדעי הים), בתי ספר יסודיים (מצפה ים ויעלים), מרכז לימודי שדה אילת, ארגונים ירוקים כמו צלול, שומרי המפרץ, אדם טבע ודין, ידידי כדור"א ואחרים, וגם מועדוני הצלילה המקיימים קורסים והרצאות בנושא הים.

3.3.3.3.2 ממדי הפקת השרות, תועלות ומשתמשים בתחום החינוך

לחינוך הימי תועלת תרבותית חברתית דרך טיפוח עניין ומודעות בקרב ילדי ישראל למגוון הביולוגי הימי ולשירותי המערכת באספקתם הוא מעורב, מה שמסביר את הצורך בשמירה עליו, ובכך מקדם שמירה זו. החינוך הימי עשוי להעשיר את ההנאה של השהיה בחיק הטבע הימי, מה שמביא לשיפור החיבור בין האדם, בעיקר הצעיר, לים. בדומה לשיעורי חינוך גופני, כך גם היציאה למרחב החופי והימי מביאה לתועלת בריאותית (גוף ונפש), ואף לתועלות כלכליות הנובעות מהביקוש לכיתות לימוד ועזרי לימוד מגוונים. שירות התרבות של המערכת הימית התומך במחקר המדעי תורם לתועלות דרך עירור עניין מדעי וגיוס תקציבי מחקר, וכן דרך פיתוח פתרונות מבוססי המגוון הביולוגי הימי לבעיות הנדסיות, תזונתיות, אנרגטיות ואחרות של המין האנושי. התרומה הכלכלית של שירות זה מתבטאת בפרנסתם של המחנכים והחוקרים, ובעיקר כאשר תוצאות החינוך והמחקר הימיים מקדמים כלכלה המבוססת על משאבי הים.

3.3.3.3.3 ממדי הפקת השרות, תועלות ומשתמשים בעיקר בתחום המחקר

חוקרים, סטודנטים וטכנאים, ישראלים וזרים, מאוניברסיטאות ומכוני המחקר השונים עובדים על פרויקטים מדעיים הקשורים במערכת מפרץ אילת ובמגוון הביולוגי בו מדי שנה. מפרץ אילת הינו אחד מגופי המים הנחקרים ביותר בעולם בהתייחס לממדיו (דפני, 2000), ועל אף שטחה הקטן של המערכת הישראלית ביחס לכל מפרץ אילת, המבנה והתפקוד שלה, ובפרט זה של שונית האלמוגים שלה, ריכזו ומרכזות תשומת לב מדעית רבה. בשנת 1968 הקימה אוניברסיטה העברית את המעבדה הימית, שהפכה בשנת 1985 למכון הבין-אוניברסיטאי למדעי הים - המוסד האקדמי היחיד בישראל בו שותפות כל האוניברסיטאות. בעזרת תקציב של שנתי של 1.1 מיליון שקלים של המשרד להגנת הסביבה, מבצע המכון מאז שנת 2003 את "תכנית הניטור הלאומית של מפרץ אילת" (גולדשמיט, 2010). פעילויות המחקר וההוראה של המכון מתפרשות על פני כלל הספקטרום של מדעי הים. הצוות המנהלי שלו מונה 25 איש ו-8 טכנאים, יש בו 7 מדענים תושבים ועוד 50 מדענים חוקרים ממרכז הארץ, המנחים מעל למאה תלמידים לתואר שני ודוקטורט (אתר המכון). במכון מתקיימים מדי שנה כ-20 קורסים בהם לומדים מעל ל-350 תלמידים ומבוצעות בו כ-3200 צלילות מדעיות בשנה. מאז 1975 פעלה בעיר מכללת אילת ובהמלצת המועצה להשכלה גבוהה (מל"ג) הפכה אוניברסיטת בן גוריון ב-2003 את המכללה לשלוחה הדרומית שלה, שכוללת מסלול לתואר ראשון ושני

בביולוגיה וביוטכנולוגיה ימית. המרכז הלאומי לחקלאות ימית (להלן מלח"י) של חקר ימים והאגמים, בחוף הצפוני של אילת, עוסק בפיתוח טכנולוגיות לגידול דגי ים ויצורים ימיים אחרים בעלי ערך כלכלי. למרות שמיני המטרה החקלאיים אינם בהכרח מקומיים, חלק ניכר מהמחקר בו נסמך על רכיבים שונים של המגוון הביולוגי של המערכת. במלח"י מעל 40 עובדים ותקצוב הבסיס השנתי שלו בשנים 2003-2007 היה כ-8 מיליון ש"ח (גולדשמיט, 2010).

כלל אזרחי ישראל עשויים להיות חשופים לחינוך הנוגע במערכת האקולוגית הימית האילתית. הגופים העוסקים בחינוך מבוסס-ים באילת הם בית ספר שדה אילת, המרכז לחינוך וספורט ימי, שמורת האלמוגים, המצפה התת ימי, המעבדה הבינלאומית לחקר הדולפינים בריף הדולפינים, מדריכים ומודרכים במועדוני הצלילה, בבתי המלון או בעסקים נלווים, פעילויות חינוך ארציות ומקומיות ועוד. אלפי תלמידים, טכנאים וחוקרים, ישראלים וזרים, עובדים באוניברסיטאות ומכוני המחקר על פרויקטים מדעיים הקשורים בים ובמגוון הביולוגי בו. מגני ילדים ועד לאזרחים ותיקים, כלל אזרחי ישראל עשויים להיות חשופים לחינוך המתמקד במערכת האקולוגית הימית בחינוך פורמלי, בחוגי העשרה ודרך מסכי הטלוויזיה והמחשב. התפתחות הטכנולוגיה פותחת אפיקי עניין ומחקר חדשים כל העת גם בתחום הימי, וריבוי ירחוני המחקר ובמות הפרסום המדעי השונות (כולל ברשת האינטרנט) תורמים להגברת מחקר המגוון הביולוגי הימי והנגשת הידע עליו.

אין כמעט קבוצה טקסונומית גדולה במערכת הימית, מיונקים ימיים, צבי ים, דגים, חסרי חוליות כקווצי עור, סרטנים, רכיכות, ספוגים, אלמוגים, עשבי ים, אצות ועד חיידקים, שלא זכתה למחקר מדעי במפרץ אילת. יחד עם זאת, ממדי המחקר המדעי של המערכת האקולוגית במפרץ (למשל מספרי הפרסומים המדעיים) או חלקו והשפעתו על המדע הגלובלי טרם נבדקו. הנתונים לגבי תקציבי המחקר הימי או ממדי התעסוקה הנגזרים מחקר המערכת האקולוגית הימית או מפעילויות חינוך בה אף הם חלקיים. ממדי שירות החינוך הימי עולים עם גודל האוכלוסייה הצעירה והעלייה באיכות החיים. בנוסף למספר המבקרים, התפוסה במלונות ומספרי הצוללים באילת, רלוונטים מאד גם מספרי משנרקלים/שחיינים, שחסרים לנו נתונים עבורם. גם מקומה של העיר באתוס הלאומי טרם תואר מנקודה הראות של המערכת האקולוגית. לא מצאנו ניתוח טקסטואלי של השיח הנוגע לאסוציאציות אנושיות הקשורות לים, או כימות של מספר האנשים המייחסים חשיבות דתית/רוחנית לים, תמונות שצולמו או צוירו, ספרים שנכתבו, סרטים שהופקו וכו'.

שינויים גדולים במגוון הביולוגי, כמו אלו שהתרחשו ומתרחשים בשונית האילתית, בעיקר כאלו העלולים להשפיע לרעה על שירותי המערכת הזו הוו בזמנו מנוף לגיוס משאבי מדינה, כמו למשל להפעלת תכנית ניטור המפרץ הפועלת החל משנת 2003. גורמי שינוי כמו החקלאות הימית, תעלת הימים המתוכננת, ובעיקר שינויים הקשורים בשונית האלמוגים (שפל, זיהום נפט, שבירת אלמוגים ע"י צוללים, העשרה, שינויי אקלים וכו') דחפו וקידמו מחקר, הן הייעודי והן הבסיסי במפרץ אילת. שינויים בשיעור המחקר עם הזמן אינם רק תוצאה של עניין הציבור, הרשויות והמדענים; הם עשויים להיות גם תוצאה של מגמות במגוון הביולוגי שהצריכו ידע לתכנון וביצוע ממשק של המערכת הימית. כך גם גורמים מחוללי שינוי במערכת עשויים לחולל שינוי באספקת שרות החינוך של המערכת. אפשר שמודעות הציבור למגוון הביולוגי של מערכת מפרץ אילת הישראלית שהתבטאה בהחלטת ממשלה להוציא את חוות הדגים ממי המערכת משום סיכום הפוטנציאלי למערכת כולה, היא אינדיקטור להפקה יעילה של שרותי החינוך והמחקר בהם מעורב המגוון הביולוגי של המערכת (ראה קופסה 1: תולדות החקלאות הימית במערכת מפרץ אילת ולקחיה).

קופסה 1: תולדות החקלאות הימית במערכת מפרץ אילת ולקחיה

ההחלטה לחסל את החקלאות הימית שבמערכת מפרץ אילת הייתה אחת ההחלטות החשובות והשנויות במחלוקת בתולדות השיח הציבורי והמדעי על שמירת טבע בישראל, שמניעה המוצהרים לא היו השמירה על אספקת שירותי אספקה וויסות של המערכת, אלא השמירה על המגוון הביולוגי בגין עצם קיומו ותועלתיו בעיקר כמפיק שירותי תרבות. במהלך פעילותה של החווה הביאה ליצירת שטח קרקעית חסרת חיים ברדיוס של כמה עשרות מטרים מתחת לכלובי החווה, ובין השנים 2003-1998 גברה היצרנות במי המערכת מ-100 ל-300 ג' פחמן למ"ר לשנה, כל אלה כנראה עקב דישון המפרץ בפרט מחוות הדגים (Erez et al., 2003). במקביל, עלתה בהדרגה הפקת שרות אספקת דגה של החווה עד לשנת 2007 וב-2008, לאחר ויכוח ציבורי ומדעי על ייחוס השינויים שנצפו במצבה של שוניית האלמוגים לפעילות החווה, ובעקבות דו"ח של ועדה מקצועית שמונתה על ידי ממשלת ישראל (Atkinson et al., 2004), הוצאו הכלובים ממערכת ים-סוף ופעילותם הועתקה למערכת הים התיכון. זאת משום שהדו"ח של הוועדה העלה את האפשרות שהמשך העשרת המערכת בכמויות הגדולות של חומרי דשן שמקורם במזון הדגים שבכלובים, עלולה לסכן את המגוון הביולוגי של שוניית האלמוגים (Atkinson et al., 2004). באשר להשפעה שהייתה לכלובים על שוניית האלמוגים, למרות שלא נמצא ה"אקדה המעשן" של השפעה ישירה (Rinkevich, 2005), ממצאי דו"ח הוועדה הצביעו על מורכבות התהליכים במערכת. למשל, התברר שחומרי הדשן מהחווה נעים במהירות מצפון המערכת לדרומה ומעשירים, אם כי במידה קטנה מאד, את המאגר הטבעי הגדול של חומרי דשן במים העמוקים שברחבי המערכת כולה. לפיכך, גם אם המגוון הביולוגי בשטח הקטן שבסביבת החווה מושפע מההעשרה בחומרי הדשן, ההשפעה על שוניית האלמוגים, אם בכלל, כנראה מזערית. וכך, המלצת הדו"ח להפסיק את פעילות החווה נבע מקורה בעיקרון הזהירות המונעת, מה שהביא בשנת 2005 להוראת בית המשפט על הוצאת הכלובים מהמערכת. כחצי שנה לאחר הוצאת הכלובים, ב-2008, חזרו ראשוני היצורים (פורמיניפרים, יצורי פלנקטון חד-תאיים) לאזור חסר החיים, וכחצי שנה אחריהם נרשמה חזרתם של עשבי הים ושאר יצורי המגוון הביולוגי של הקרקעית באזור החוף הצפוני. וכך, חדלות ההפקה של שרות אספקת דגה ממערכת מפרץ אילת, באמצעות חקלאות ימית, תפקדה כהמרה של שרות אספקת דגה בשירותי תרבות (אולי אף שירותי וויסות). אלא שחדלון שרות האספקה מוחשי, אך אפשר שאבטחת האספקה של שירותי התרבות כתוצאה של המרה זו היא פוטנציאלית בלבד.

3.4. יחסי גומלין בתוך ובין מערכות

3.4.1. השפעת מערכות-על אחרות על המגוון הביולוגי של מערכת מפרץ אילת

למערכת המדברית השפעות פיזיות על מערכת מפרץ אילת, באירועים שנתיים בודדים של הסעת סחף קרקעי ועני בנוטריינטים, אך מייצר עכירות זמנית במים, בעיקר באזור החוף הצפוני ובמוצאי ואדיות גדולים בחוף המערבי. המגוון הביולוגי של המערכת המדברית אינו מעורב אפוא ישירות בהשפעות כל שהן על מערכת מפרץ אילת. היות ואין מחסום כל שהוא בין המערכת הישראלית וחלקיו האחרים של מפרץ אילת, סביר שלפחות באזורי הגבולות הפוליטיים מתקיימים יחסי גומלין. אין נתונים על יחסי גומלין או השפעות אלה, למעט המידע כי גיוס אלמוגים חדשים לצדו הירדני או הישראלי של הגבול מתבצע מאותו מאגר פגיות משותף, שכן לא נמצאו הבדלים גנטיים משמעותיים בין בני אותו המין בשני עברי המפרץ (World-Bank, 2011).

השפעה פוטנציאלית אפשרית של מערכות הים התיכון בכלל ומהמערכת הישראלית של הים התיכון בפרט אל מערכת מפרץ אילת היא זו של מינים פולשים זרים מהים התיכון, באמצעות תעלת סואץ. השפעה כזו אפשרית שכן בתעלה אין משטר זרימה יציב והיא בעיקר אל הים התיכון בחורף-אביב ואל מפרץ סואץ בקיץ-סתיו (Morcos, 1980). אך מחקר תאורטי הראה כי

לגוף הפצה (כפגית, למשל) שתנועתו במים פסיבית ונקלע לפתח הים-תיכוני של התעלה הסיכוי לחצותה ולהיחלץ ממנה אל תוך מפרץ סואץ, קטן בהרבה מהסיכוי של גוף הפצה ממפרץ סואץ שנקלע אל פתח מפרץ סואץ של התעלה, לחצותה ולהיחלץ ממנה אל הים התיכון (Agur & Safriel, 1981). ואמנם, נמצא מידע רק על 15 מיני דגים ים-תיכוניים שנמצאו בים סוף (Goren & Dor, 1994), ולא ידוע אם מי מהם נמצא גם במערכת הישראלית של מפרץ אילת. סביר שמינים נוספים פלשו גם כן למערכת, אך לא נמצא מידע לכך, אם כי ממדי פלישה זו עדיין לא זוהו כגורם משפיע על מערכת מפרץ אילת. קרתה אמנם חדירה של מינים זרים למערכת, אך לא באמצעות תעלת סואץ אלא מדובר בדגי דניס ולברק הים-תיכוניים, שברחו מכלובי הדגים טרם הוצאו מהמערכת, אך כנראה שבמהלך הזמן מאז נעלמו מהמערכת (Golani & Lerner, 2007).

3.4.2. יחסי גומלין בין האזורים השונים שבתוך מערכת מפרץ אילת

כמו בכל מערכת ימית מתקיימים במערכת מפרץ אילת יחסי גומלין בין המגוון הביולוגי של גוף המים לזה של הקרקעית ובין המגוון הביולוגי של הקרקעית הרכה לזה של הקרקעית הסלעית, ולהם התייחסויות בסעיפיו השונים של פרק זה.

3.4.3. סינרגיה והמרות בין שירותים

מגמת הירידה בדיג המסחרי, הן מסיבות כלכליות וחברתיות, והן מאכיפת שמירת טבע המערכת משמעה המרת שרות אספקת דגה בשרותי תרבות שהתרחשה במערכת. בנוסף, שרות וויסות איכות מי הים תומך בהיצע של שרותי התרבות על ידי המגוון הביולוגי של שונות האלמוגים, וגם בביקוש לשרותי התרבות של המשתמשים הרבים בהם. לאמור, קיימת סינרגיה בין שרות תרבות ושרות ויסות, שכן וויסות איכות מי הים המתבצע על ידי המגוון הביולוגי של המערכת, ממתן גם גורמים מחוללי שינוי, בעיקר כזיהומים, הפוגעים גם במגוון הביולוגי של השונות, וגם במשתמשי השרות.

יחד עם זאת, פעילויות האדם להגברת הביקוש של שרותי התרבות, לממדים שהוא נעשה לביקוש-יתר, גורמות לפחיתה בהפקת שרותי הוויסות המופקים על ידי המערכת. היינו, אפשר שפעילות האדם במערכת מפרץ אילת משמעה המרת שרותי ויסות בשרותי תרבות. מכאן שהאתגר הוא להביא למדיניות ניהול התיירות והנופש באילת, שמקדמת את הסינרגיה בין שירותים מבלי להביא להמרת שרותים.

3.5. תגובות לשינויים במצב המערכת

בעשור הראשון מאז הקמתה של העיר אילת שונות האלמוגים נפגעה על ידי שליית אלמוגים, כוכבי ים ורכיכות בעלות קונכייה לצרכי מסחר בהם כמוצרי נוי. באמצעות אכיפת חוק הדיג פעילות הרסנית זו פחתה והלכה. זו גם הביאה בשנת 1958 לתיחום שמורת טבע באזור החוף המערבי (על ידי החברה להגנת הטבע), שהוכרזה בשנת 1960 כשמורת הטבע הימית הראשונה של ישראל. מאז שליית יצורים מהשמורה הלכה ונעלמה. בנוסף, בחוק שמירת הסביבה החופית (תיקון - מפרץ אילת), התשס"ח-2007 הוגדר תחום החוף ככולל את כלל שטח הים של מפרץ אילת הישראלי. בעקבות העלייה בזיהום החופים והמים החלו ישראל וירדן בפעילות למניעת זיהום הים, תחת ההסכם הבין-ממשלתי, האמנה לשיתוף ומוכנות לטיפול בזיהומי ים בשמן (International Convention on Oil Pollution Preparedness, Response and Co-operation (OPRC)). החל משנת 2005 תכנית ניקיון החופים של המשרד להגנת הסביבה עושה שימוש ב"מדד חוף נקי" לשם הערכת מידת ניקיון חופי הארץ הלא מוכרזים בים התיכון וגם במפרץ אילת (עמיר, 2013).

במהלך השנים 1975 ל-2000 התבצעו פעילויות ניטור מצב המערכת. אך אלה לא אפשרו זיהוי אמין של הגורמים לשינויים במערכת ובמגוון הביולוגי שלה. אך עקב ההכרה בחשיבות השונית ורגישותה, החל בשנת 2000 מעקב רב-שנתי אחר אלמוגי האבן במשטח השונית וב-2003 הושקה התכנית הלאומית לניטור מפרץ אילת. הניטור כולל סקרים של המגוון הביולוגי של השונית ושל אזור החוף הצפוני, בדגש על אלמוגים שאל חסרי חוליות, אצות ודגים, מחלות דגים וטפיליהם, וכן ניטור מתכות, יצרנות ראשונית זואופלנקטון, טמפרטורה, כלורופיל, זרמים, מצב הכרית, אבק אטמוספירי ועוד. החל מ-2007 מבוצעים סקרים ספציניים של דגי השונית במסגרת תכנית הניטור החלו בשנת 2007, אך הדיג עדיין אינו מנוטר.

תגובות אלה של תחיקה, אכיפה, ניטור ומחקר, מתייחסות לזיהומים וגורמים מחוללי שינוי פוטנציאליים במצב המערכת כולה, אך אין הן מתייחסות עדיין ספציפית לשינויים באספקת השרותים של מערכת מפרץ אילת הישראלית. גורם מחולל משמעותי נוסף במערכת אמור לפעול עם הקמתו והפעלתו של פרויקט תעלת הימים. לדוגמא, המחקר שבדק את כלל השפעות הפרויקט על המפרץ (World-Bank, 2011) העלה כי עיקר הפגיות של דגים, אלמוגים וחסרי חוליות אחרים בצפון המפרץ נמצאים בעומקים של 25-75 מ', ורק מעט מהם נמצאו עמוק מעומק הדירת האור ב-120 מ'. לפיכך הומלץ למקם את נקודת השאיבה של מי המפרץ אל המוביל מתחת לעומק הדירת האור, ובגובה של לפחות 25 מ' מעל לקרקעית (World-Bank, 2011). המחקר גם מציע שנפחי המים הנשאבים למוליך יהיו רק גריעה זניחה בהתייחס לתכונות הפיזיות של המפרץ והשינוי בשטפי החום בעמודת המים יהיו קטנים ומוגבלים רק לכ- 200-300 מ' מנקודת השאיבה בלבד (World-Bank, 2011).

3.6. פערי ידע

3.6.1. שרותי אספקה

ממדי ההפקה של שרות אספקת דגה על ידי הדיג החובבני, פילוח המשתמשים, הרכב המינים של הדגה הנלכדת.

3.6.2. שרותי וויסות

שרות ויסות איכות מי הים: זיהוי תפקודי כל אחד מהמינים המעורבים בהפקת השרות; התרומה היחסית של שרות הוויסות בנפרד מזו של מיהול הזיהום במי הים, ובהתייחס לכל אחד מהגורמים מחוללי השינוי; המנגנונים ורכיבי המגוון הביולוגי המעורבים בהפקת שרות וויסות איכות מי הים בשונית ובמרבדי עשבי הים. שרות ויסות אקלים גלובלי: ממדי הקיבוע ולכידת הפחמן על ידי רכיבי המגוון הביולוגי של קרקעית כל אחד מאזורי המערכת. שרות וויסות בליית החוף: כימות מיתון הבלייה על ידי השונית החוגרת, ועל ידי עשבי הים.

3.6.3. שירותי תרבות

אפיון זיהוי כימות ופילוח האוכלוסיות והמגזרים המשתמשים בשרותי ההתנסות האקטיבית (פנאי וכו'), בשרותי ההתנסות הפסיבית (השראה וכו'), ושאינם מייחסים את השימוש בים לתיפקודו כמערכת אקולוגית; זיהוי וכימות ההשפעה של מגמות במיני הדגל של המערכת על מגמות בממדי השימוש בכל אחד משרותי התרבות של המערכת.

3.6.4. שירותים פוטנציאליים

הערכת שירותים פוטנציאליים של המערכת הימית - אספקת משאבים גנטיים.

4. מקורות

מבוא כללי

- צדוק, ר., ברנע, א. (2013). סיכום סקר ביולוגי לגילוי ומיפוי רכסי כורכר תת-ימיים בעומקים 125-95 מ' במסגרת תמ"א 37 ח' למתקני טיפול בגז טבעי מתגליות. לרמן אדריכלים ומתכנני ערים בע"מ.
- Almagor, G., & Hall, J. K. (1984). *Morphology of the Mediterranean Continental Margin of Israel: (a Compilative Summary and a Bathymetric Chart) (No. 77)*. Geological Survey of Israel.

מבוא

- Coleman, D.F. (2011). Exploring the Continental Margin of Israel: 'Telepresence' at Work. *Eos*, 92(10), 81-82.
- Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Lasram, F. B. R., Aguzzi, J., ... & Danovaro, R. (2010). The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PloS one*, 5(8), e11842.
- Danovaro, R., Corinaldesi, C., D'Onghia, G., Galil, B., Gambi, C., Gooday, A. J., ... & Polymenakou, P. (2010). Deep-sea biodiversity in the Mediterranean Sea: The known, the unknown, and the unknowable. *PloS one*, 5(8), e11832.
- Galil, B.S. (2004). The limit of the sea: the bathyal fauna of the Leventine Sea. *Scientia Marina*, 68(3), 63-72.
- Golani, D. (2005). Checklist of the Mediterranean fishes of Israel. *Zootaxa*, 947(1), 1-90.
- Hall-Spencer, J.M., Rodolfo-Metalpa, R., Martin, S., Ransome, E., Fine, M., Turner, S.M., Rowley, S.J., Tedesco, D., Buia, M.C. (2008). Seawater carbonate chemistry in Ischia, Italy. *PANGAEA*,
- Volis, S., Ormanbekova, D., Yermekbayev, K., Song, M., & Shulgina, I. (2016). The conservation value of peripheral populations and a relationship between quantitative trait and molecular variation. *Evolutionary Biology*, 43(1), 26-36.
- Rubin-Blum, M., Tsadok, R., Shemesh, E., Goodman-Tchernov, B.N., Austin, J.A., Coleman, D.F., Ben-Avraham, Z., Gruber, D.F., Tchernov, D. (2014). Distribution of the *Lamellibrachia* spp. (Siboglinidae, Annelida) and their trophosome endosymbiont phylotypes in the Mediterranean Sea. *Marine Biology* 161(6): 1229-1239.

אזורי מערכת העל

- אדליסט, ד. (2018) ניטור הדיג בים התיכון בישראל לשנת 2017. נחשון עבודות ימיות בע"מ. דו"ח שנתי למשרד החקלאות. 24 ע'
- בר-זאב, ע., ברמן-פרנק, א., ברמן, ת. (2013). פעילותם של חלקיקים אורגניים שקופים (TEP) בים ותפקידם בהתפתחות אילוח ביולוגי במערכות התפלה. בתוך: נ. סטמבלר. *הוד הים: יציבות ושינוי במערכות הימיות של ישראל* (עמ' 283-296). העמותה הישראלית למדעי הימים.
- גלבע, מ., גולדשמיט, ו. (1986). גאות ושפל בישראל. *אופקים בגאוגרפיה*, 15, 21-46.
- חרות ב., גורדון, נ., גליל, ב., לובינסקי, ה., טיבור, ג., תום, מ., רילוב, ג., סילברמן, ג., ורינקביץ', ב'. (2014). *התכנית הלאומית לניטור מימי החופין של ישראל בים התיכון – דו"ח מדעי לשנת 2012*. ה. ל. י. ו. לישראל.
- לוי, י. (2013). צבי ים. בתוך: דו"ח מצב הטבע בים התיכון. המארג.
- פרלמן, י. (2013). עופות ים. בתוך: דו"ח מצב הטבע בים התיכון. המארג.
- עינב, ר. והופמן, ר. (2013). אצות. בתוך: דו"ח מצב הטבע בים התיכון. המארג.
- צדוק, ר., ברנע, א. (2013). סיכום סקר ביולוגי לגילוי ומיפוי רכסי כורכר תת-ימיים בעומקים 125-95 מ' במסגרת תמ"א 37 ח' למתקני טיפול בגז טבעי מתגליות. לרמן אדריכלים ומתכנני ערים בע"מ, 23.

- צמל, ע. (2013). סקירת השפעות האדם על הים התיכון. בתוך: דוח מצב הטבע בים התיכון. המארג.
שיינין, א.פ., ברנע, א., אדליסט, ד., קלס, ק., גפן-גלזר, ע., היאמס, ל., פרלמן, י., יהל, ר. ואגרט, נ. (2013). דוח מצב
הטבע בים התיכון 2013. המארג.
- Barash, A., L. Blaustein, et al. (2013). *The Dusky Shark in the Mediterranean: Cryptic Invaders from the Red Sea?* 8th International Conference on Marine Bioinvasions, Vancouver, Canada.
- Berman-Frank, I., Lundgren, P., Chen, Y. B., Küpper, H., Kolber, Z., Bergman, B., & Falkowski, P. (2001). Segregation of nitrogen fixation and oxygenic photosynthesis in the marine cyanobacterium *Trichodesmium*. *science*, 294(5546), 1534-1537.
- Edelist, D. (2013). *Fishery management and marine invasion in Israel*. University of Haifa, Faculty of Humanities, Department of Maritime Civilizations.
- Edelist, D., & Spanier, E. (2009). Influence of Levantine Artificial Reefs on the fish assemblage of the surrounding seabed. *Mediterranean Marine Science*, 10(1), 35-54.
- Gertman, I. & Goldman, R. (2013). *Interannual changes in the thermohaline structure of the south eastern Mediterranean*. CIESM, Marseille.
- Goren, M., & Galil, B. S. (2001). Fish biodiversity in the vermetid reef of Shiqmona (Israel). *Marine Ecology*, 22(4), 369-378.
- Jones, C. G., Lawton, J. H., & Shachak, M. (1994). Organisms as ecosystem engineers. In *Ecosystem management* (pp. 130-147). Springer, New York, NY.
- Kerem, D., Hadar, N., Goffman, O., Scheinin, A., Kent, R., Boisseau, O., & Schattner, U. (2012). Update on the cetacean fauna of the Mediterranean Levantine basin. *The Open Marine Biology Journal*, 6(1).
- Lipkin, Y., & Safriel, U. (1971). Intertidal zonation on rocky shores at Mikhmoret (Mediterranean, Israel). *The Journal of Ecology*, 1-30.
- Lotan, A., Fine, M., & Ben-Hillel, R. (1994). Synchronization of the life cycle and dispersal pattern of the tropical invader scyphomedusan *Rhopilema nomadica* is temperature dependent. *Marine Ecology-Progress Series*, 109, 59-59.
- Rahav, E., Herut, B., Stambler, N., Bar-Zeev, E., Mulholland, M. R., & Berman-Frank, I. (2013). Uncoupling between dinitrogen fixation and primary productivity in the eastern Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 118(1), 195-202.
- Rilov, G., Peleg, O., Yeruham, E., Garval, T., Vichik, A., & Raveh, O. (2018). Alien turf: Overfishing, overgrazing and invader domination in south-eastern Levant reef ecosystems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28(2), 351-369.
- Watanuki, Y. (1995). Long-term trends of seabirds' populations on Teuri Island. In Report on the Seabirds' Community Survey at Teuri Island 1992-1994. *Hokkaido Institute of Environmental Science*, 39-42.
- Zohary, T., Brenner, S., Krom, M. D., Angel, D. L., Kress, N., Li, W. K., ... & Yacobi, Y. Z. (1998). Buildup of microbial biomass during deep winter mixing in a Mediterranean warm-core eddy. *Marine Ecology Progress Series*, 167, 47-57.
- Zviely, D., Kit, E., & Klein, M. (2007). Longshore sand transport estimates along the Mediterranean coast of Israel in the Holocene. *Marine Geology*, 238(1-4), 61-73.

גורמים מחוללי שינוי

- ביתן, מ. (2014). השפעת עליית גובה פני הים במאה ה-21 על מבנים ימיים בחופי הים התיכון של ישראל: הערכת עלויות שימור (עבודת מאסטר). החוג לציוויליזציות ימיות, אוניברסיטת חיפה.
- הג"ס (2014). תלמ"ת תכנית לאומית למוכנות ותגובה לאירועי זיהום ים בשמן. א. י. וחופים, המשרד להגנת הסביבה.

- חיימס-קפצן, א., בנימיני, ח., אברמוביץ, ס. (2013). פורמיניפרים מהגרים בים התיכון הישראלי. בתוך: נ. סטמבלר. הוד הים: יציבות ושינוי במערכות הימיות של ישראל (עמ' 211-222). העמותה הישראלית למדעי הימים.
- חרות, ב., שפר, ע., גורדון, נ., גליל, ב., טיבור, ג., תום, מ., רילוב, ג., וסילברמן, ג. (2012). התכנית הלאומית לניטור מימי החופין של ישראל בים התיכון, דו"ח מדעי לשנת 2011.
- חרות, ב., גורדון, נ., גליל, ב., לובינסקי, ה., טיבור, ג., תום, מ., רילוב, ג., סילברמן, ג., ורינקביץ, ב'. (2014). התכנית הלאומית לניטור מימי החופין של ישראל בים התיכון – דו"ח מדעי לשנת 2012. ה. ל. י. ו. לישראל.
- נקאר, נ. (2011). בחינת דינאמיקת התיישבות של פלנולות מהמין (*Rhopilema nomadica*) חוטית נודדת והשפעתן של מדוזות על ענף הדיג בחוף הים התיכון של ישראל (עבודת מאסטר). החוג לציוויליזציות ימיות, אוניברסיטת חיפה.
- עמיר, ר. (2013). הגנה על המערכת הימית בישראל מפני פעילות אנושית, מדיניות ויישום. בתוך: נ. סטמבלר. הוד הים: יציבות ושינוי במערכות הימיות של ישראל (עמ' 9-18). העמותה הישראלית למדעי הימים.
- פסטרנק, ג., שפיר, א., צביאלי, ד., מוהר, ד., אריאל, א., עמיר, ר. (2014). הפסולת הימית בחופי הים התיכון בישראל - מאפיינים, מקורות ודרכי התמודדות. אקולוגיה וסביבה, 5(1), 85-84.
- צביאלי, ד., ברסלר, ג., חיים, מ., פירסט, ב., עמיר, ר. (2014). השפעת תהליכים טבעיים ופעילות האדם על חופי הרחצה החוליים של ישראל בים התיכון. אקולוגיה וסביבה, 5(1), 85-84.
- צדוק, ר., ברנע, א. (2013). סיכום סקר ביולוגי לגילוי ומיפוי רכסי כורכר תת-ימיים בעומקים 95-125 מ' במסגרת תמ"א 37 ח למתקני טיפול כגו טבעי מתגליות. לרמן אדריכלים ומתכנני ערים בע"מ.
- צלול. (2013). דו"חות סיום עונת רחצה. נדלה בדצמבר 2018.
- צלול. (2017). דו"חות סיום עונת רחצה. נדלה בדצמבר 2018.
- צמל, ע. (2013). סקירת השפעות האדם על הים התיכון. בתוך: דוח מצב הטבע בים התיכון. המארג.
- צנובר (1999). חוף הים התיכון בישראל, הערכת התועלת החברתית. צנובר יועצים בע"מ, 73.
- קרוס, נ., גליל, ב., שהם-פרידר, א. (2012). ניטור ימי באזור הזרמת רכו התפלה ממתקן ההתפלה בפלמחים. דו"ח סופי לממצאי ניטור 2011 (מאי וספטמבר), המכון לחקר ימים ואגמים לישראל.
- רילוב, ג. (2014). תמורות אקולוגיות בים התיכון לחופי ישראל. אקולוגיה וסביבה, 5, 44-51.
- רילוב, ג., וגיא חיים, ת. (2014) שוניות סלעיות בליטורל חופי הים התיכון הישראלי – אקוסיסטמות בשינוי פאזה. בתוך: נ. סטמבלר. הוד הים: יציבות ושינוי במערכות הימיות של ישראל (עמ' 128-138). העמותה הישראלית למדעי הימים.
- רילוב, ג. וטרבס, ח. (2010) השפעות שינוי האקלים הגלובלי על המערכות האקולוגיות הימיות: תמונת מצב עולמית והשלכות על הסביבה הימית בישראל. אקולוגיה וסביבה, 1, 65-57.
- שיינין, א.פ., ברנע, א., אדליסט, ד., קלס, ק., גפן-גלזר, ע., היאמס, ל., פרלמן, י., יהל, ר. ואנגרט, נ. (2013). דוח מצב הטבע בים התיכון 2013. המארג.
- תמ"א 13. (1983). תכנית מתאר ארצית חלקית לחופים – חוף הים התיכון. מנהל התכנון.
- ACCOBAMS. (2012). *Scientific synthesis on the impacts of noise on marine and coastal biodiversity and habitats*. 16th convention on biological diversity, Montreal.
- Airoldi, L., Turon, X., Perkol-Finkel, S., & Rius, M. (2015). Corridors for aliens but not for natives: effects of marine urban sprawl at a regional scale. *Diversity and Distributions*, 21(7), 755-768.
- Angel, D. L., Edelist, D., & Freeman, S. (2016). Local perspectives on regional challenges: jellyfish proliferation and fish stock management along the Israeli Mediterranean coast. *Regional environmental change*, 16(2), 315-323.
- Barash, A., L. Blaustein, et al. (2013). *The Dusky Shark in the Mediterranean: Cryptic Invaders from the Red Sea?* 8th International Conference on Marine Bioinvasions, Vancouver, Canada.
- Barnes, D. K., Galgani, F., Thompson, R. C., & Barlaz, M. (2009). Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1526), 1985.

- Belkin, N., Rahav, E., Elifantz, H., Kress, N., & Berman-Frank, I. (2015). Enhanced salinities, as a proxy of seawater desalination discharges, impact coastal microbial communities of the eastern Mediterranean Sea. *Environmental microbiology*, *17*(10), 4105-4120.
- Carpenter, S. R., Mooney, H. A., Agard, J., Capistrano, D., DeFries, R. S., Díaz, S., ... & Perrings, C. (2009). Science for managing ecosystem services: Beyond the Millennium Ecosystem Assessment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, pnas-0808772106.
- Clark, R., & Joyce, J. (2014). *Disturbance Monitoring in Smith and Minor Islands Washington Department of Natural Resources Aquatic Reserve*. Washington Environmental Council.
- Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Kaschner, K., Lasram, F. B. R., Aguzzi, J., ... & Danovaro, R. (2010). The biodiversity of the Mediterranean Sea: estimates, patterns, and threats. *PLoS one*, *5*(8), e11842.
- Edelist, D. (2013). *Fishery management and marine invasion in Israel*. University of Haifa, Faculty of Humanities, Department of Maritime Civilizations.
- Edelist, D., & Spanier, E. (2009). Influence of Levantine Artificial Reefs on the fish assemblage of the surrounding seabed. *Mediterranean Marine Science*, *10*(1), 35-54.
- Edelist, D., Golani, D., Rilov, G., & Spanier, E. (2012). The invasive venomous striped eel catfish *Plotosus lineatus* in the Levant: possible mechanisms facilitating its rapid invasional success. *Marine Biology*, *159*(2), 283-290.
- Edelist, D., Rilov, G., Golani, D., Carlton, J. T., & Spanier, E. (2013). Restructuring the Sea: profound shifts in the world's most invaded marine ecosystem. *Diversity and Distributions*, *19*(1), 69-77.
- Edelist, D., Scheinin, A., Sonin, O., Shapiro, J., Salameh, P., Rilov, G., ... & Zeller, D. (2013). Israel: Reconstructed estimates of total fisheries removals in the Mediterranean, 1950-2010. *Acta Adriatica*, *54*(2).
- Fuentes, V. L., Angel, D. L., Bayha, K. M., Atienza, D., Edelist, D., Bordehore, C., ... & Purcell, J. E. (2010). Blooms of the invasive ctenophore, *Mnemiopsis leidyi*, span the Mediterranean Sea in 2009. In *Jellyfish Blooms: New Problems and Solutions* (pp. 23-37). Springer, Dordrecht.
- Galil, B. S. (2012). Truth and consequences: the bioinvasion of the Mediterranean Sea. *Integrative Zoology*, *7*(3), 299-311.
- Galil, B. S. (2013). Going going gone: the loss of a reef building gastropod (Mollusca: Caenogastropoda: Vermetidae) in the southeast Mediterranean Sea. *Zoology in the Middle East*, *59*(2), 179-182.
- Galil, B. S., Boero, F., Campbell, M. L., Carlton, J. T., Cook, E., Fraschetti, S., ... & Marchini, A. (2015). 'Double trouble': the expansion of the Suez Canal and marine bioinvasions in the Mediterranean Sea. *Biological Invasions*, *17*(4), 973-976.
- Gertman, I. & Goldman, R. (2013). *Interannual changes in the thermohaline structure of the south eastern Mediterranean*. CIESM, Marseille.
- Golik, A., & Rosenberg, N. (1987). Quantitative evaluation of beach-stranded tar balls by means of air photographs. *Marine pollution bulletin*, *18*(6), 289-293.
- Zenetos, A. (2014). *HCMR Invasive species listed in the Mediterranean by European Environment Agency (projects PERSEUS, VECTORS and DAISIE) and stored at Hellenic Centre for Marine Research*. Accessed June 2014.
- Kerem, D., Goffman, O., Scheinin, A., Elasar, M., Hadar, N., & Edelist, D. (2014). Report on the status of small cetaceans in Israeli Mediterranean waters. *Report of the International Whaling Commission, SC/65b/SM09*.
- Kimor, B. (1992). The impact of eutrophication on phytoplankton composition in coastal marine ecosystems. In *Marine Coastal Eutrophication* (pp. 871-878).

- Lee, K., & Neff, J. (Eds.). (2011). *Produced water: environmental risks and advances in mitigation technologies*. Springer Science & Business Media.
- Mazor, T., Possingham, H. P., Edelist, D., Brokovich, E., & Kark, S. (2014). The crowded sea: incorporating multiple marine activities in conservation plans can significantly alter spatial priorities. *PLoS One*, *9*(8), e104489.
- McCauley, R. D., Fewtrell, J., Duncan, A. J., Jenner, C., Jenner, M. N., Penrose, J. D., ... & McCabe, K. (2000). Marine seismic surveys—a study of environmental implications. *The APPEA Journal*, *40*(1), 692-708.
- Murawski, S. A. (2000). Definitions of overfishing from an ecosystem perspective. *ICES Journal of Marine Science*, *57*(3), 649-658.
- NOAA (2010). *Effects of Oil on Marine Mammals and Sea Turtles*. D. o. Commerce. U.S, National Oceanic and Atmospheric Administration: 2.
- OPRC. (1995). *International Convention on oil pollution preparedness, response and cooperation, (with annex and procèsverbal of rectification)*. Concluded at London on 30 November 1990. Pp 77-237.
- Ozer, T., Gertman, I., Kress, N., Silverman, J., & Herut, B. (2017). Interannual thermohaline (1979–2014) and nutrient (2002–2014) dynamics in the Levantine surface and intermediate water masses, SE Mediterranean Sea. *Global and Planetary Change*, *151*, 60-67.
- Pauly, D., Christensen, V., Guénette, S., Pitcher, T. J., Sumaila, U. R., Walters, C. J., ... & Zeller, D. (2002). Towards sustainability in world fisheries. *Nature*, *418*(6898), 689. Rilov, G. 2016. Multi-species collapses at the warm edge of a warming sea. Scientific reports 6.
- Rilov, G., Gasith, A., Evans, S. M., & Benayahu, Y. (2000). Unregulated use of TBT-based antifouling paints in Israel (eastern Mediterranean): high contamination and imposex levels in two species of marine gastropods. *Marine Ecology Progress Series*, *192*, 229-238.
- Rilov, G., & Galil, B. (2009). Marine bioinvasions in the Mediterranean Sea—history, distribution and ecology. In *Biological invasions in marine ecosystems* (pp. 549-575). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Rilov, G., Benayahu, Y., & Gasith, A. (2004). Prolonged lag in population outbreak of an invasive mussel: a shifting-habitat model. *Biological Invasions*, *6*(3), 347-364.
- Rilov, G., Benayahu, Y., & Gasith, A. (2001). Low abundance and skewed population structure of the whelk *Stramonita haemastoma* along the Israeli Mediterranean coast. *Marine Ecology Progress Series*, *218*, 189-202.
- Rilov, G., Peleg, O., Yeruham, E., Garval, T., Vichik, A., & Raveh, O. (2018). Alien turf: Overfishing, overgrazing and invader domination in south-eastern Levant reef ecosystems. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, *28*(2), 351-369.
- Safriel, U. N., Gilboa, A., & Felsenburg, T. (1980). Distribution of rocky intertidal mussels in the Red Sea coasts of Sinai, the Suez Canal and the Mediterranean coast of Israel, with special reference to recent colonizers. *Journal of Biogeography*, 39-62.
- Safriel, U. N., & Sasson-Frostig, Z. (1988). Can colonizing mussel outcompete indigenous mussel?. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, *117*(3), 211-226.
- Safriel, U. N. (2013). The “Lessepsian invasion”—a case study revisited. *Israel Journal of Ecology & Evolution*, *59*(4), 214-238.
- Sala, E., Kizilkaya, Z., Yildirim, D., & Ballesteros, E. (2011). Alien marine fishes deplete algal biomass in the eastern Mediterranean. *PloS one*, *6*(2), e17356.

- Sisma-Ventura, G., Yam, R., & Shemesh, A. (2014). Recent unprecedented warming and oligotrophy of the eastern Mediterranean Sea within the last millennium. *Geophysical Research Letters*, 41(14), 5158-5166.
- Van der Hal, N., Angel, D. (2014). *Microplastic pollution and its potential effects on marine biota in Israeli coastal waters*. The Israeli Association for Aquatic Sciences, Jaffa.
- Yeruham, E. (2013). *Possible explanations for Paracentrotus lividus (European purple sea urchin) population collapse in South-East Mediterranean* (M.A. thesis). Department of Zoology, Tel Aviv University.
- Yeruham, E., Rilov, G., Shpigel, M., & Abelson, A. (2015). Collapse of the echinoid *Paracentrotus lividus* populations in the Eastern Mediterranean—result of climate change?. *Scientific reports*, 5, 13479.
- Zamir, R., Alpert, P., & Rilov, G. (2018). Increase in Weather Patterns Generating Extreme Desiccation Events: Implications for Mediterranean Rocky Shore Ecosystems. *Estuaries and Coasts*, 1-17.
- Zenetos, A., Gofas, S., Morri, C., Rosso, A., Violanti, D., García Raso, J. E., ... & Ballesteros, E. (2012). Alien species in the Mediterranean Sea by 2012. A contribution to the application of European Union's Marine Strategy Framework Directive (MSFD). Part 2. Introduction trends and pathways.

יצרנות ראשונית ומחזור חומרים

- Azov, Y. (1986). Seasonal patterns of phytoplankton productivity and abundance in nearshore oligotrophic waters of the Levant Basin (Mediterranean). *Journal of Plankton Research*, 8(1), 41-53.
- Berman, T., Townsend, D. W., Elsayed, S. Z., Trees, C. C., & Azov, Y. (1984). Optical transparency, chlorophyll and primary productivity in the Eastern Mediterranean near the Israeli coast. *Oceanologica Acta*, 7(3), 367-372.
- Nellemann, C., & Corcoran, E. (Eds.). (2009). *Blue carbon: the role of healthy oceans in binding carbon: a rapid response assessment*. UNEP/Earthprint.
- Olsford, F., Schaanning, M. T., Widdicombe, S., Kendall, M. A., & Austen, M. C. (2008). Effects of bottom trawling on ecosystem functioning. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 366(1-2), 123-133.
- Zohary, T., Brenner, S., Krom, M. D., Angel, D. L., Kress, N., Li, W. K., ... & Yacobi, Y. Z. (1998). Buildup of microbial biomass during deep winter mixing in a Mediterranean warm-core eddy. *Marine Ecology Progress Series*, 167, 47-57.

תמיכה בבתי גידול

- חרות, ב., שפר, ע., גורדון, נ., גליל, ב., טיבור, ג., תום, מ., רילוב, ג., וסילברמן, ג. (2012). התכנית הלאומית לניטור מימי החופין של ישראל בים התיכון, ד"ר ח' מדעי לשנת 2011.
- יהל, ר. (2011). מדיניות שמירת הטבע בים התיכון: שמורות טבע ימיות ככלי לשימור הסביבה והמגוון בים התיכון. ירושלים: רשות הטבע והגנים.
- רילוב, ג., וגיא חיים, ת. (2014) שוניות סלעיות בליטורל חופי הים התיכון הישראלי – אקוסיסטמות בשינוי פאזה. בתוך: נ. סטמבלר. *הוד הים: יציבות ושינוי במערכות הימיות של ישראל* (עמ' 128-138). העמותה הישראלית למדעי הימים.
- Beaumont, N. J., Austen, M. C., Atkins, J. P., Burdon, D., Degraer, S., Dentinho, T. P., ... & Marboe, A. H. (2007). Identification, definition and quantification of goods and services provided by marine biodiversity: implications for the ecosystem approach. *Marine pollution bulletin*, 54(3), 253-265.

Edelist, D., & Spanier, E. (2009). Influence of Levantine Artificial Reefs on the fish assemblage of the surrounding seabed. *Mediterranean Marine Science*, 10(1), 35-54.

ויסות איכות מי ים

בר-זאב, ע., ברמן-פרנק, א., ברמן, ת. (2013). פעילותם של חלקיקים אורגניים שקופים (TEP) בים ותפקידם בהתפתחות אילוה ביולוגי במערכות התפלה. בתוך: נ. סטמבלר. *הוד הים: יציבות ושינוי במערכות הימיות של ישראל (עמ' 283-296)*. העמותה הישראלית למדעי הימים.

חרות ב., גורדון, נ., גליל, ב., לובינסקי, ה., טיבור, ג., תום, מ., רילוב, ג., סילברמן, ג., ורינקביץ', ב'. (2014). *התכנית הלאומית לניטור מימי החופין של ישראל בים התיכון – דל' ח מדעי לשנת 2012*. ה. ל. י. ו. לישראל.

Rozen, Y., & Belkin, S. (2001). Survival of enteric bacteria in seawater. *FEMS microbiology reviews*, 25(5), 513-529.

ויסות בליית מצוק הכורכר החופי

ספרא, ד. (1962). צורות המסה בטבלת הגידוד ובמצוק החופי של חוף הכרמל הדרומי. *מחקרים בגיאוגרפיה של ארץ ישראל*, 3, 15-30.

רילוב, ג. (2014). תמורות אקולוגיות בים התיכון לחופי ישראל. *אקולוגיה וסביבה*, 5, 44-51.

Rilov, G., Benayahu, Y., & Gasith, A. (2004). Prolonged lag in population outbreak of an invasive mussel: a shifting-habitat model. *Biological Invasions*, 6(3), 347-364.

ויסות אקלים גלובלי

קרט, נ., גליל, ב. וחובי. (2012). *השפעת בוצה משופעלת על הסביבה הימית*. תוצאות הדיגומים שנערכו בשנת 2011 באזור המוצא הימי של השפד"ן, המכון לחקר ימים ואגמים לישראל.

Chisholm, S. W. (2000). Oceanography: stirring times in the Southern Ocean. *Nature*, 407(6805), 685.

Duarte, C.M., Sintes, T., Marbà, N. (2013) Assessing the CO₂ capture potential of seagrass restoration projects. *Journal of Applied Ecology*, 50, 1341-1349.

Gertman, I. & Goldman, R. (2013). *Interannual changes in the thermohaline structure of the south eastern Mediterranean*. CIESM, Marseille.

Knittel, K., & Boetius, A. (2009). Anaerobic oxidation of methane: progress with an unknown process. *Annual review of microbiology*, 63, 311-334.

Canu, D. M., Ghermandi, A., Nunes, P. A., Lazzari, P., Cossarini, G., & Solidoro, C. (2015). Estimating the value of carbon sequestration ecosystem services in the Mediterranean Sea: An ecological economics approach. *Global Environmental Change*, 32, 87-95.

Peled, Y., Zemah-Shamir S., Schechter M., Israel A. (2016). *An economic analysis of the climate regulation ecosystem service within israel's exclusive economic zone*. 42nd annual conference for science and environment of the Israeli Society of Ecology and Environmental Sciences. Ramat Gan, Israel

Sala, E., Kizilkaya, Z., Yildirim, D., & Ballesteros, E. (2011). Alien marine fishes deplete algal biomass in the eastern Mediterranean. *PloS one*, 6(2), e17356.

Sisma-Ventura, G., Yam, R., & Shemesh, A. (2014). Recent unprecedented warming and oligotrophy of the eastern Mediterranean Sea within the last millennium. *Geophysical Research Letters*, 41(14), 5158-5166.

אספקת דגה

- אדליסט, א. (2020) דו"ח שנתי למשרד החקלאות - ניטור הדיג בים התיכון בישראל לשנת 2019. 32 ע' איילון, א., טרופ, ת., עשת, צ., ליבס, ע., זרביב, מ., כרם, א., מוזס, נ. וקהל, י. (2015). פיתוח בר-קיימא של חקלאות ימית בים התיכון של ישראל. מוסד שמואל נאמן בטכניון ומשרד החקלאות ופיתוח הכפר.
- נקאר, נ. (2011). בחינת דינאמיקת התיישבות של פלנולות מהמין (*Rhopilema nomadica*) חוטית נודדת והשפעתן של מדוזות על ענף הדיג בחוף הים התיכון של ישראל (עבודת מאסטר). החוג לציוויליזציות ימיות, אוניברסיטת חיפה.
- רוטשילד, ע., שולץ, ד., זס, ר., הר לב, א., יאיון, נ., זילברשטיין, ר., רוזנצוויג, ג., גפני, ע. ואלחסיד, א. (2013). תכנית אסטרטגית לניהול הדיג בים התיכון.
- שגיא, ג., מ-ד. א., סטמבלר, נ., דותן, א., הרשקו, ח. (2013). ניטור השפעת חוות הדגים בנמל אשדוד על הסביבה הימית, המשרד להגנת הסביבה: 86.
- שיינין, א., וסונין, א. (2013). הדיג בישראל – עבר, הווה ואולי גם עתיד. בתוך: נ. סטמבלר. הוד הים: יציבות ושינוי במערכות הימיות של ישראל (עמ' 223-238). העמותה הישראלית למדעי הימים.
- שפירו, ג. (2008). הדיג וחקלאות המים בישראל בשנת 2007. משרד החקלאות ופיתוח הכפר, אגף הדיג וחקלאות המים.
- Angel, D. L., Edelist, D., & Freeman, S. (2016). Local perspectives on regional challenges: jellyfish proliferation and fish stock management along the Israeli Mediterranean coast. *Regional environmental change*, 16(2), 315-323.
- Ben Yami, M. & Glaser, T. (1974) The invasion of *Saurida undosquamis* (Richardson) into the Levant Basin—an example of biological effect of interoceanic canals. *Fishery Bulletin*, 72, 359-373.
- Edelist, D. (2013). *Fishery management and marine invasion in Israel*. University of Haifa, Faculty of Humanities, Department of Maritime Civilizations.
- Edelist, D., Rilov, G., Golani, D., Carlton, J. T., & Spanier, E. (2013). Restructuring the Sea: profound shifts in the world's most invaded marine ecosystem. *Diversity and Distributions*, 19(1), 69-77.
- Edelist, D., Scheinin, A., Sonin, O., Shapiro, J., Salameh, P., Rilov, G., ... & Zeller, D. (2013). Israel: Reconstructed estimates of total fisheries removals in the Mediterranean, 1950-2010. *Acta Adriatica*, 54(2).
- Golani, D. (1994). Niche separation between colonizing and indigenous goatfish (Mullidae) along the Mediterranean coast of Israel. *Journal of fish biology*, 45(3), 503-513.

פנאי וספורט

- רוטשילד, ע., שולץ, ד., זס, ר., הר לב, א., יאיון, נ., זילברשטיין, ר., רוזנצוויג, ג., גפני, ע. ואלחסיד, א. (2013). תכנית אסטרטגית לניהול הדיג בים התיכון.
- רספ"ן. (2014). שנתון סטטיסטי ספנות ונמלים 2014. אגף תכנון כלכלה וקשרי חוץ.
- שיינין, א.פ., ברנע, א., אדליסט, ד., קלס, ק., גפן-גלזר, ע., היאמס, ל., פרלמן, י., יהל, ר. ואנגרט, נ. (2013). דוח מצב הטבע בים התיכון 2013. המארג.
- Davidson, B. (2007). How Many Divers Are There? *Unundercurrent*, 22(5), 2.
- Deidun, A., Arrigo, S., & Piraino, S. (2011). The westernmost record of *Rhopilema nomadica* (Galil, 1990) in the Mediterranean—off the Maltese Islands. *Aquatic Invasions*, 6(Suppl 1), S99-S103.
- Edelist, D., Golani, D., Rilov, G., & Spanier, E. (2012). The invasive venomous striped eel catfish *Plotosus lineatus* in the Levant: possible mechanisms facilitating its rapid invasional success. *Marine Biology*, 159(2), 283-290.

- Frost, M., Hattam, C., Mangi, S., & Stentiford, G. (2011). Chapter 12: Marine. *The UK National Ecosystem Assessment Technical Report. UK National Ecosystem Assessment, UNEP-WCMC, Cambridge.*
- Ghermandi, A., Galil, B., Gowdy, J., & Nunes, P. A. (2015). Jellyfish outbreak impacts on recreation in the Mediterranean Sea: welfare estimates from a socioeconomic pilot survey in Israel. *Ecosystem services, 11*, 140-147.
- Kerem, D., Goffman, O., Scheinin, A., Elasar, M., Hadar, N., & Edelist, D. (2014). Report on the status of small cetaceans in Israeli Mediterranean waters. *Report of the International Whaling Commission, SC/65b/SM09.*
- Levy, Y., Frid, O., Weinberger, A., Sade, R., Adam, Y., Kandanyan, U., ... & Bat-Sheva Rothman, S. (2015). A small fishery with a high impact on sea turtle populations in the eastern Mediterranean. *Zoology in the Middle East, 61(4)*, 300-317.
- Luck, G. W., Daily, G. C., & Ehrlich, P. R. (2003). Population diversity and ecosystem services. *Trends in Ecology & Evolution, 18(7)*, 331-336.
- Nunes, P. A. & Ghermandi, A. (2013). The Economics of Marine Ecosystems: Reconciling Use and Conservation of Coastal and Marine Systems and the Underlying Natural Capital. *Environmental and Resource Economics, 56(4)*, 459-465.

השראה

- אודיש, י. ופליישמן, ל. (2006). השפעת הנוף על שוויין של דירות מגורים. משרד המשפטים, מחלקת המחקר והמידע במקרקעין.
- עפרת, ג. (1990). עם הגב לים: דימויי המקום באמנות ישראל ובספרותה. הוצאת אומונות ישראל.
- Azaryahu, M. (2008). The formation of the "Hebrew Sea" in pre-state Israel. *Journal of Modern Jewish Studies, 7(3)*, 251-267.
- Ghermandi, A., Galil, B., Gowdy, J., & Nunes, P. A. (2015). Jellyfish outbreak impacts on recreation in the Mediterranean Sea: welfare estimates from a socioeconomic pilot survey in Israel. *Ecosystem services, 11*, 140-147.
- Mangos, A., Bassino, J. P., & Sauzade, D. (2010). Blue Plan Papers 8. Ding, H., Dias Nunes, P., & Teelucksingh, S. (2010). *European forests and carbon sequestration services: an economic assessment of climate change impacts.*
- Schlör, J. (2009). Tel Aviv:(with Its) Back to the Sea? An Excursion into Jewish Maritime Studies. *Journal of Modern Jewish Studies, 8(2)*, 215-235.
- Tyrväinen, L., & Miettinen, A. (2000). Property prices and urban forest amenities. *Journal of environmental economics and management, 39(2)*, 205-223.

מחקר וחינוך

- Frost, M., Hattam, C., Mangi, S., & Stentiford, G. (2011). Chapter 12: Marine. *The UK National Ecosystem Assessment Technical Report. UK National Ecosystem Assessment, UNEP-WCMC, Cambridge.*

יחסי גומלין

- Golani, D., & Lerner, A. (2007). A long term study of the sandy shore ichthyofauna in the northern Red Sea (Gulf of Aqaba), with reference to adjacent mariculture activity. *Raffles Bulletin of Zoology, 14*, 255-264.

- ארז, ח, ויאיון, נ. (2014). מקומו של התסקיר הסביבתי האסטרטגי בניהול המרחב הימי. *אקולוגיה וסביבה*, 5(1), 71-74.
- חרות ב., גורדון, נ., גליל, ב., לובינסקי, ה., טיבור, ג., תום, מ., רילוב, ג., סילברמן, ג., ורינקביץ', ב'. (2014). *התכנית הלאומית לניטור מימי החופין של ישראל בים התיכון – ד"ח מדעי לשנת 2012*. ה. ל. י. ו. לישראל.
- יהל, ר. (2011). *מדיניות שמירת הטבע בים התיכון: שמורות טבע ימיות ככלי לשימור הסביבה והמגוון בים התיכון*. ירושלים: רשות הטבע והגנים.
- יהל, ר., אנגרט, נ. (2012). *מדיניות שמירת הטבע בים התיכון: שמורות טבע ימיות ככלי לשימור הסביבה והמגוון בים התיכון*. רשות הטבע והגנים.
- משרד הפנים. (2010). *הועדה לשמירה על הסביבה החופית: סיכום חמש שנים*. ירושלים: מינהל התכנון של משרד הפנים.
- עמיר, ר. (2013). הגנה על המערכת הימית בישראל מפני פעילות אנושית, מדיניות ויישום. בתוך: נ. סטמבלר. *הוד הים: יציבות ושינוי במערכות הימיות של ישראל (עמ' 9-18)*. העמותה הישראלית למדעי הימים.
- צהרי, נ. (2014). רב-שיח בנושא ההשפעה הסביבתית של גידול דגים בים התיכון. *אקולוגיה וסביבה*, 5(1), 120-121.
- שפיר, א., וסונין, א. (2008). *ד"ח סופי: מחקר שטחים ימיים מוגנים - עתלית*. חיפה: המכון ללימודי-ים ע"ש לאון רקנאטי.
- Atkinson, M. J., Birk, Y., & Rosenthal, H. (2004). Evaluation of fish cages in the Gulf of Eilat. *Report for the Israeli Ministries of Infrastructure, Environment and Agriculture, Israel*.
- Moses, N. (2013). *Trends and Environmental Issues Related to the Development of Off-shore Cage Culture in the Israeli Coast of the Mediterranean*. Eastern Mediterranean Ecosystem - characteristics, services and stressors - Expert Workshop, Binyamina, Israel.
- Sas, E., Fischhendler, I., & Portman, M. E. (2010). The demarcation of arbitrary boundaries for coastal zone management: the Israeli case. *Journal of Environmental Management*, 91(11), 2358-2369.