דאגה ושמה פלסטיק

זיהום הסביבה הימית בשבבי פלסטיק

מעובד על פי המאמר[1]:

H.S. Auta, C.U. Emenike, S.H. Fauziah (2017): Distribution and importance of microplastics in the marine environment: A review of the sources, fate, effects, and potential solutions. Environment International 102: 165–176.

מבוא

פסולת ימית נעשתה בעיה סביבתית כלל-עולמית המשפיעה על כל חלקי האוקיינוסים שלנו (Shim & Thompson, 2015). מקורה בעיקר בפעילויות האדם ביבשה והיא יוצרת בעיות בריאותיות וסביבתיות כתוצאה מטיפול לקוי בפסולת והיעדר תשתיות מתאימות. עומס הפסולת בים הוא נושא מטריד יותר ויותר בשל תוצאותיו הביולוגיות והאקולוגיות (Alomar et al., 2016).

אחד הרכיבים העיקריים של פסולת ימית הוא פלסטיק (כ-80%), ששיעורו גדל בקצב מהיר ביותר גם בפסולת עירונית, והיקף ייצורו העולמי רק הולך ועולה: בשנות החמישים נאמד הייצור העולמי של פלסטיק בכ-1.7 מיליון טונות בשנה והוא עלה ל-299 מיליון טונה ב-2014 (PlasticsEurope, 2015; United Nations Environment Programme, UNEP, 2015). ייצור הפלסטיק ההולך וגדל והעובדה שחמישה אחוזים בלבד מפסולת הפלסטיק ממוחזרים מסבירים את הצטברות פסולת הפלסטיק בסביבה הימית (Sutherland et al., 2010).

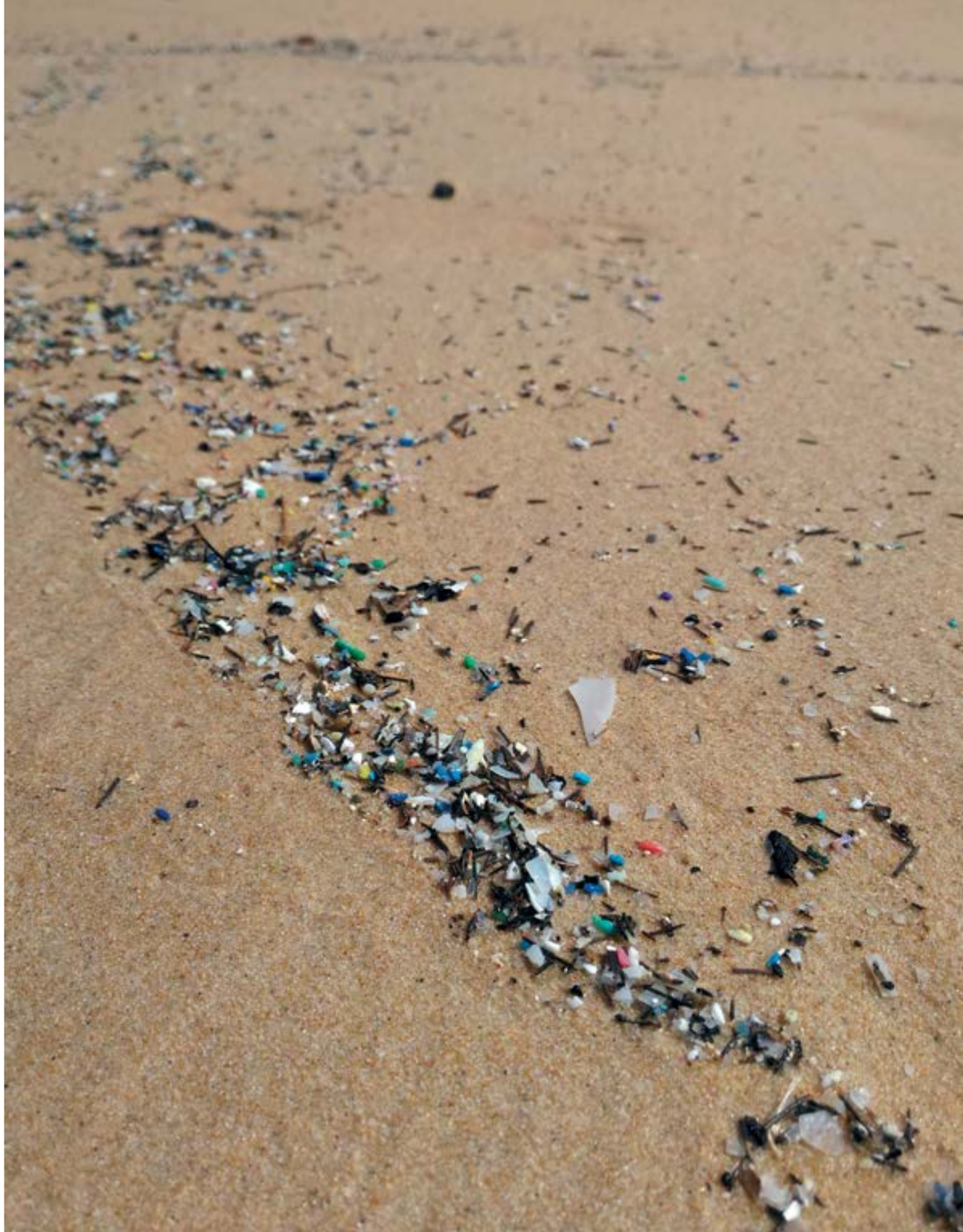
פסולת פלסטיק מגיעה לים בגדלים שונים. לרוב היא אינה מתפרקת במלואה, אלא נשברת לחלקים קטנים שגודלם אינו עולה על חמישה מילימטרים, המכונים שבבי פלסטיק, או מיקרופלסטיק (Cole et al., 2011). שבבי פלסטיק ראשוניים מיוצרים מראש בגדלים אלה במטרה להוסיפם למשחות קוסמטיות ולמשחות שיניים, לבדים סינתטיים ולמגבונים וכן ככדורים זעירים בעבור תעשיית הפלסטיק. שבבי פלסטיק משניים נוצרים משבירה של פריטי פלסטיק גדולים יותר, לרוב בהשפעת קרינה על-סגולית (uv) או שבירה מכנית. שבבים ראשוניים מוצאים את דרכם לים דרך מערכות ביוב ביתיות ותעשייתיות ודרך מערכות השקיה באמצעות מים אפורים[2] (Cole et al., 2011); שבבי פלסטיק משניים (גדולים יותר) יכולים להגיע לים ממזבלות ומפסולת דרכים וחופים (Alomar et al., 2016).

שבבי פלסטיק נפוצים בכל האוקיינוסים בעולם. אפשר למצוא אותם בחופים ובקווי המים שלאורכם, צפים על פני המים, בעומקים שונים של הים, במשקעים בתחתית העמוקה של הים ואפילו באסדות קרח הצפות על פני המים (Ferreira et al., 2016). יש מגוון רחב של אורגניזמים המסוגלים לבלוע אותם בשל גודלם הזעיר: זואופלנקטון, צדפות, דגים, סרטנים, תולעים ויונקים ימיים כמו לווייתנים (Ferreira et al., 2016). בליעת שבבי פלסטיק מסכנת בעלי חיים אלה משום שהיא גורמת לתופעות כמו תחושת שובע מוטעית, קשיי רבייה, עיכוב בייצור אנזימים, ירידה בשיעור הגדילה ועקת חמצון (Sutton et al., 2016). שבבי פלסטיק יכולים לספוג חומרים כימיים רעילים ממי הים ולגרום להצטברותם בגופו של בעל החיים שבלע אותם. כך יכולים הרעלים לעבור בריכוז גבוה יותר בתוך מארג המזון (Reisser et al., 2014). נוסף על כך, שבבי פלסטיק יכולים להיות נשאים לפתוגנים. רוב החומרים שמהם עשויים שבבי הפלסטיק עמידים בפני פירוק באמצעות מיקרואורגניזמים, ולכן הם נותרים בסביבה זמן רב (Yoshida et al., 2016). גם בני אדם עלולים להיפגע משבבי פלסטיק, לדוגמה באמצעות אכילת בעלי חיים ימיים. לאחרונה התגלו שבבי פלסטיק גם במלח המופק מהים (Yang et al., 2015) וקיים חשש שגם בדרך זאת הם עלולים לעבור לבני אדם.

מאמר זה סוקר את מקורות הזיהום של שבבי הפלסטיק, את מאפייני השבבים בסביבה הימית, לרבות תפוצתם והשלכותיהם; ומעלה הצעות למניעת זיהום בשבבי פלסטיק.

[1] הגרסה המובאת כאן היא סקירה של תוכני המאמר המקורי, ונועדה להנגיש את המידע לציבור המורים לביולוגיה ולמדעי הסביבה. העיבוד כלל הוספת הסברים ואיורים לתכנים מורכבים, סינון מידע שאינו נקשר לרעיון המרכזי של הגרסה המעובדת, הגדרת מונחים מקצועיים, ובמידת האפשר קישור הדברים לתהליכי למידה והוראה. המעוניינים לקרוא את המאמר המקורי מוזמנים לפנות למקור המובא בתחילת הגרסה המעובדת.

[2] מים אפורים: שפכים שאין בהם הפרשות אדם ואפשר לעשות בהם שימוש חוזר. לדוגמה, מי מכונת כביסה, מי מקלחת



מקורות שבבי פלסטיק

כדי למנוע זיהום סביבתי יש צורך בזיהוי הגורם המזהם ומיקומו; אלא שהדבר קשה במיוחד בכל הנוגע לזיהום הים משבבי פלסטיק, משום שהוא נוצר משילוב של גורמים רבים הנמצאים במקומות רבים ומזהמים בזמנים שונים. כאמור, שבבי פלסטיק ראשוניים מיוצרים מראש כחלקי פלסטיק הקטנים מחמישה מילימטרים. מוצרי קוסמטיקה רבים מכילים שבבי פלסטיק זעירים: חומרים לניקוי פנים, משחות שיניים, גיל לאמבטיה, מוצרי פילינג, צלליות לעיניים, דאודורנטים, אבקת סומק, בסיס לאיפור, מסקרה, קרם גילוח, מוצרי תינוקות, בועות לאמבטיה, צבעי שיער, לק לציפורניים, קרם הגנה ותכשירים דוחי יתושים (Cole et al., 2011; Duis & Coors, 2016). כמו כן, שבבי פלסטיק ראשוניים משמשים לתעשיית חומרי הניקוי בעיקר בשיטות ניקוי בלחץ, שבמהלכן הם עלולים להזדהם במתכות כבדות כמו קדמיום ועופרת (Cole et al., 2011). השימוש במוצרי קוסמטיקה וניקוי אלה מכונה "פתוח" מפני שהם מיועדים להישטף לביוב ולמערכות ניקוז. שימוש בחרוזי פלסטיק זעירים החל גם ברפואה, ובה הם משמשים נשאים לתרופות שונות (Patel et al., 2009).

שבבי פלסטיק משניים הם לרוב תוצאה של פירוק חלקי פסולת פלסטיק גדולים לחלקים קטנים. תהליך הפירוק הוא שילוב של תהליכים מכניים, כימיים וביולוגיים הפוגעים בלכידות של חלקי הפלסטיק הגדולים, עד הפיכתם לשבבי פלסטיק זעירים (Cole et al., 2011). לדוגמה, חשיפה לקרינה על-סגולית (UV) מהשמש גורמת לחמצון הפולימר שממנו הפלסטיק עשוי ולשבירת קשרים כימיים (Wagner et al., 2014). תהליך זה יעיל במיוחד לאורך החופים, שם החשיפה לאור השמש מרבית, פעילות הגלים והערבול מעודדים שבירה מכנית ויש חמצן בשפע (GESAMP, 2014). עם הזמן חלקי הפלסטיק הופכים שבירים, מופיעים בהם סדקים והם מצהיבים. כאשר השברים שוקעים בים למקומות החשופים פחות לקרינה על-סגולית והטמפרטורות נמוכות יותר, חלה האטה בתהליך הפירוק (GESAMP, 2014), אבל עם הזמן הם הופכים לשבבים זעירים (Cole et al., 2011).

דרכי הגעה לים

חרוזי פלסטיק זעירים ממוצרי קוסמטיקה והיגיינה ומבגדים סינתטיים מגיעים לים דרך מערכות ביוב תעשייתיות וביתיות. בארצות הברית, לדוגמה, מיוצרים כ-263 טונה לשנה של שבבי פוליאתילן בעיקר ממוצרי קוסמטיקה, וההערכה היא שכל אדם צורך כ-2.4 מיליגרם שבבי פלסטיק ליום (Gouin et al., 2011). מקור נוסף לחרוזי פלסטיק הם מכוני החמצון, הממחזרים מי שפכים למטרות השקיה. שבבי פלסטיק מגיעים לים גם באמצעות תעלות ניקוז, רוח, זרמים וסחף (Zalasiewicz et al., 2016). בשל גודלם הזעיר שבבי פלסטיק מועברים ומופצים למרחקים גדולים מאוד באמצעות זרמי הים (Cole et al., 2011). שבבים שהם תוצאה של פירוק שברי פלסטיק גדולים יותר יכולים להגיע מאתרי פסולת, מניהול לא מתאים של איסוף פסולת בחופים, או מאזורים שבהם מזג אוויר סוער מוביל להצטברות חלקי פלסטיק גדולים בחוף.

שבבי פלסטיק בסביבה הימית

שבבי פלסטיק נפוצים מהאזורים הארקטיים ועד אנטארקטיקה, ולאחרונה התגלה שאינם פוסחים גם על הקטבים (Lusher et al., 2015). הם נמצאים בעומקים שונים של הים, גם לאורך החופים. כשני מיליון שבבי פלסטיק הגיעו למי החופים בקליפורניה באמצעות שני נהרות, בתקופה של שלושה ימים בלבד (Moore et al., 2015). דיווחים על שבבי פלסטיק מגיעים ממחקרים שנערכו בים ביפן, בנורבגיה, בשפך נהר הריין, בים הצפוני, בחופי בלגיה, בפורטוגל, בדרום אפריקה, במזרח אסיה, בסין, בקנדה ובקולומביה הבריטית. הנתונים מעוררים דאגה רבה, מפני שהם מצביעים על תפוצה נרחבת ביותר ועל ריכוז גבוה מאוד. לדוגמה, במפרץ סן פרנסיסקו נמצאו על פני המים 15000 עד שני מיליון שבבים לקילומטר מרובע (Sutton et al., 2016). שבבים נמצאו גם במשקעים בסביבות שגדלים בהן מנגרובים[3] (Smith, 2012).

שבבי פלסטיק שצפיפותם קטנה מצפיפות מי הים צפים, ואילו אלה שצפיפותם גדולה ממנה שוקעים לקרקעית הים (Alomar et al., 2016). אחד מהתהליכים המשנים את צפיפות שבבי הפלסטיק הוא אכלוס שטח הפנים של השבבים במיקרואורגניזמים, הגורם להם לשקוע (Reisser et al., 2014). ידוע כי שבבי פלסטיק נוטים להצטבר במשקעים ימיים בכמויות גדולות ולאורך זמן, בעומק הים ולאורך החופים (Alomar et al., 2016).

פתרון מבטיח לבעיית שבבי הפלסטיק הוא ביודגרדציה, שבה מנצלים את יכולתם של חיידקים מסוימים לפרק פולימרים של פלסטיק

[3] עצים או שיחים הגדלים במים מלוחים לאורך חופי ים.

השלכות הימצאותם של שבבי הפלסטיק בים על יצורים ימיים

שבבי פלסטיק ראשוניים ומשניים שמוצאים את דרכם למקווי מים נבלעים בידי יצורים ימיים ומצטברים ברקמותיהם. שבבי פלסטיק נמצאו במגוון יצורים ימיים: עופות אוכלי דגים, דגים, יונקים ימיים כמו לווייתנים, סרטנים וצדפות, מלפפוני ים וצבי ים (Gauquie et al., 2015; Ferreira et al., 2016). באחד המחקרים נמצא שהפרשות של זואופלנקטון שנחשפו לשבבים הכילו שבבי פלסטיק זעירים (Cole et al., 2016) ושקעו לקרקעית האקווריום. את ההפרשות בלעו זואופלנקטון גדולים יותר, שטרגליים[4], דבר המצביע על המעברים האפשריים של שבבי פלסטיק בין יצורים בסביבות ימיות. ככל שגודל השבבים קטֵן כך גדֵל מגוון היצורים העלולים לבלוע אותם, גדלה יכולת ההסתננות של השבבים למערכות אקולוגיות וגדלה רגישותן של מערכות אלה לנוכחותם (Shim & Thompson, 2015).

לאחרונה מתרבים המחקרים הבודקים את השפעתם של שבבי הפלסטיק על יצורים ימיים, רובם נערכים בתנאי מעבדה מבוקרים. לָרוב יצורים ימיים בולעים שבבי פלסטיק באופן אקראי, או מפני שהם מזהים אותם בטעות כמזון. יש יצורים ימיים ששבבי פלסטיק חודרים לגופם באופן פאסיבי באמצעות ערבול, לדוגמה דרך הזימים (Watts et al., 2014). שבבים יכולים לגרום נזק כאשר חלה הידבקות של פולימר הפלסטיק לשטח פנים חיצוני ובתוך כך נפגעת יכולת התנועה של היצור. נוסף על כך, שבבי פלסטיק יכולים לסתום את צינור העיכול, לפגוע בפעילות הכבד, ליצור דלקת או לפגוע בגדילה (Setala et al., 2016). הם עלולים להכיל מתכות (Holmes et al., 2012) ומזהמים אורגניים שנוספים לפלסטיק בתהליך הייצור או שמקורם בשפכים תעשייתיים ובהדברה כימית והם נספחים לשבבים ממי הים (Bakir et al., 2014). מאחר ששבבי פלסטיק מופצים בנקל בכל האוקיינוסים הם עלולים לזהם סביבות נרחבות, מעבר למקומות הסמוכים למקורות השפכים (Zarfl & Matthies, 2010). נמצא שמיקרואורגניזמים ימיים מפרקים מזהמים אורגניים שנספחים לשבבי הפלסטיק, ובסרטנים זעירים ובדגים הניזונים מהם נמצאו חומרים כאלה ברקמות (Trivedi et al., 2016).

העובדה כי שבבי פלסטיק נמצאו במגוון גדול של יצורים מצביעה על האפשרות שיצורים ברמות טרופיות נמוכות יכולים להעביר את השבבים ואת החומרים המזהמים שעליהם במעלה מארג המזון ליצורים ברמות טרופיות גבוהות יותר (Hollman et al., 2013). במחקר שבו חשפו סרטנים מסוג ארטמיה לריכוזים גבוהים של שבבי פלסטיק נמצא שהסרטנים בלעו שבבי פלסטיק בריכוזים גבוהים ואלה עברו אחר כך לדגי זברה שניזונו מהם (Batel et al., 2016). אף שהדגים והסרטנים הפרישו החוצה חלק מהשבבים, חלקם נותר בתוך תאי אפיתל המעי או דבוק לסיסי המעי. כמו כן הראה המחקר שהשבבים היו נשאים של מזהמים אורגניים שעברו מהסרטנים לדגי הזברה ונותרו במעי. עם זאת, לא נמצא במחקר נזק פיזי כלשהו לבעלי החיים. לעומת זאת, במחקר אחר גרמו חומרים רעילים הנישאים על שבבי פלסטיק (Rochman et al., 2013) לעקת חמצון ודלקות כבד בדגי ארזנית יפנית (Oryzias latipes). בדגי זברה שנחשפו לשבבי פלסטיק במעבדה הצטברו רוב השבבים (בקוטר 5 מיקרומטר) בזימים, במעי ובכבד. שבבים גדולים יותר (בקוטר 20 מיקרומטר) הצטברו במעי ובזימים בלבד (Lu et al., 2016). באותו מחקר נמצאו נזקים לכבד, עקת חמצון ושינויים בתפקודי הכבד שפגעו במטבוליזם של שומנים ובתהליכי הפקת אנרגיה. פגיעות של שבבי פלסטיק במטבוליזם נמצאו גם בזואופלנקטון (Desforges et al., 2015). שבבי פלסטיק יכולים לפגוע גם מעבר למערכת העיכול ולמטבוליזם: בדג מסוג פרקה (Perca fluviatilis), שאוכלוסייתו באירופה התמעטה באופן משמעותי, נמצא כי שבבי פלסטיק פגעו בבקיעה מביצים ובגדילה, שינו את התנהגות האכילה של הדגים שהעדיפו שבבי פלסטיק על פני טריפת מזון טבעי ואפילו פגעו בחוש הריח, דבר שגרם לעלייה באחוז הדגים הנטרפים (Lönnstedt & Eklöv, 2016). החוקרים מצביעים על קשר אפשרי בין ירידה בגודל האוכלוסייה של דגים אלה לזיהום בשבבי פלסטיק. פגיעת שבבי פלסטיק ביצורים המשתייכים לרמות טרופיות נמוכות במארג המזון הימי מעוררת דאגה רבה בשל היקפו העצום של זיהום הים בשבבי פלסטיק, וההשפעות ההולכות ומתגלות של רעילותם ופגיעתם בפוריות, בהתנהגויות אכילה ובשינויי שווי המשקל בין טורף לנטרף.

אסטרטגיות לטיפול בזיהום שבבי פלסטיק

הדאגה הגוברת מזיהום הים בשבבי פלסטיק הובילה ארגונים שונים לקביעת קווים מנחים לטיפול בבעיה. לדוגמה, התוכנית הסביבתית של ארצות הברית[5] יצאה במבצע שמעורבים בו 40 מיליון אנשים מ-120 מדינות לפעולה מיידית בעניין, וליצירת מיזמים חינוכיים להעלאת המודעות, לשימוש מופחת בפלסטיק, לעידוד מִחזור ולפיתוח אמצעים להערכת היקפי השלכת פלסטיק (Caruso, 2015). ארגונים מארצות כמו צרפת, פינלנד ושיתוף בין ארצות הברית וארצות הים התיכון מפתחים קווים מנחים לבדיקת כמויות פסולת פלסטיק, כולל שבבי פלסטיק. התוכנית מפתחת סדנאות עבודה לבניית אמצעים יעילים לטיפול בפסולת, להפצת ניהול נכון של פסולת פלסטיק ולשימוש מותאם יותר בפלסטיק בקרב יחידים. ב-2011 יצאה תעשיית הפלסטיק בהכרזה משותפת עם איחוד הפלסטיק העולמי על תוכניות להפחתת אשפת פלסטיק ולתמיכה בניטור הפסולת.

[4] פרוקי רגליים דמויי סרטנים זעירים, נפוצים מאוד בסביבות ימיות ובמקווי מים מתוקים.

[5] The United Nations Expert Panel of the United Nations Environmental Programme, UNEP

פח ימי

זוג גולשים אוסטרלים המציא פח מיוחד שאוסף פסולת ימית. הפח מיועד לנמלים תיירותיים, מרינות, מעגנים ומועדוני יאכטות. הוא פועל כשהוא שקוע במים באמצעות שאיבת מים מצידו האחד, והוצאתם דרך מסננת בצידו השני. בדרך זו, כל פסולת ימית בגודל מסוים שעוברת דרכו נותרת כלואה, ולאחר זמן מה יש לרוקנו.

קבוצת המומחים להיבטים מדעיים של שמירה על הסביבה הימית (GESAMP[6]) מנסה לעודד מדינות להתחיל במאמצים מיידיים להפחתת כמות פסולת הפלסטיק המצטברת בים, באמצעות העיקרון המעגלי של שלושת ה-R: הפחתה - שימוש חוזר - מחזור (reduce-reuse-recycle). ב-2015 אושר בקליפורניה חרם על מוצרים כהגנה מפני חרוזי פלסטיק, שבמסגרתו ניתנה תמיכה לחברות שישתמשו בתחליפים טבעיים, כגון קליפות אגוזים, מלח ים וחרצני אפרסקים. התוכנית היא עד 2020 להגיע למצב של חרם כולל על מוצרים המכילים חרוזי פלסטיק (Casebeer, 2015).

כל פתרון לניקוי האוקיינוסים משבבי פלסטיק צריך לטפל בשתי בעיות עיקריות: הקושי לאסוף את פסולת הפלסטיק בים בשל גודלם הזעיר של השבבים והקושי להבחין בהם; הקושי להתגבר על שיעור הכניסה הגבוה של שבבי פלסטיק לאוקיינוס כך ששיעור איסוף הפלסטיק יעלה עליו. זיהוי מקורות הזיהום יכול לעזור באופן משמעותי להפחתת הזיהום. אולם גישה מבטיחה יותר היא ביודגרדציה, שבה מנצלים את יכולתם של חיידקים מסוימים לפרק חומרים, במקרה זה פולימרים של שבבי פלסטיק. מחקרים שונים מצאו מיקרואורגניזמים מהאדמה המסוגלים לפרק פולימרים של פלסטיק כמו פוליאתילן ופוליסטירן; ביניהם זנים של מיקרואורגניזמים מוכרים כמו הפטרייה Aspergillus niger והחיידק Bacillus subtilis (Asmita et al., 2015). החיידק Rhodococcus ruber יכול לפרק פוליסטירן, ויכולתו לייצר משטח (biofilm) על שבבי הפלסטיק משפרת את תהליך הביודגרדציה (Mor & Sivan, 2008). אפשר להשתמש במיקרואורגניזמים כאלה לניקוי סביבות מזוהמות וכן לחשוף מי ביוב ביתיים למיקרואורגניזמים מפרקי פולימרים של פלסטיק כדי להקטין את תרומתם לזיהום מי הים בשבבי פלסטיק.

הפחתת זיהום הים בשבבי פלסטיק חייבת להישען על מעורבות הציבור, מגזרים כלכליים וחברתיים, תיירות וחברות המתמחות בניהול פסולת. יחד עם אלה, יש להמשיך במחקר, כמו גיוס תהליכי ביודגרדציה, כדי לנסות לנקות את האוקיינוסים מפלסטיק, באמצעים טבעיים ובטוחים.

פסולת פלסטיק המגיעה לים אינה מתפרקת במלואה, אלא נשברת לחלקים קטנים המכונים שבבי פלסטיק

[6] Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection

מקורות

Alomar, C., Estarellas, F., Deudero, S. (2016): Microplastics in the Mediterranean Sea: deposition in coastal shallow sediments, spatial variation and preferential grain size. Marine Environmental Research 115: 1–10.

Asmita, K., Shubhamsingh, T., Tejashree, S. (2015): Isolation of plastic degrading microorganisms from soil samples collected at various locations in Mumbai, India. Current World Environment 4 (3): 77–85.

Bakir, A., Rowland, S.J., Thompson, R.C. (2014): Transport of POPs by microplastics in the estuarine conditions. Estuarine, Coastal and Shelf Science 140: 14–21.

Batel, A., Linti, F., Scherer, M., Braunbeck, T. (2016): The transfer of benzo(a)pyrene from microplastics to Artemia nauplii and further to zebrafish via trophic food web experiment-CYP1A induction and visual tracking of persistent organic pollutants. Environmental Toxicology and Chemistry http://dx.doi.org/10.1002/etc.3361.

Caruso, G. (2015): Plastic degrading microorganisms as a tool for bioremediation of plastic contamination in aquatic environments. Pollution Effects and Control 3, e112. http:// dx.doi.org/10.4172/2375-4397.1000e112.

Casebeer, T. (2015): Why the ocean cleanup project won't save our seas. 10th September, 2015. Boyan Slat's Ocean Cleanup Project's "Net Array".

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., Galloway, T.S. (2011): Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. Marine Pollution Bulletin 62: 2588–2597.

Cole, M., Lindeque, P.K., Fileman, E., Clark, J., Lewis, C., Halsband, C., Galloway, T.S. (2016). Microplastics alter the properties and sinking rates of zooplankton faecal pellets. Environmental Science & Technology 50: 3239–3246.

Desforges, J.W., Galbraith, M., Ross, P.S. (2015): Ingestion of microplastics by zooplankton in the Northeast Pacific Ocean. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 69: 320–330.

Duis, K., Coors, A. (2016): Microplastics in the aquatic and terrestrial environment: sources (with a specific focus on personal care products), fate and effects. Environmental Sciences Europe 28 (2). https://doi.org/10.1186/s12302-015-0069-y.

Ferreira, P., Fonte, E., Soares, M.E., Carvalho, F., Guilhermino, L. (2016): Effects of multistressors on juveniles of the marine fish Pomatoschistus microps: gold nanoparticles, microplastics and temperature. Aquatic Toxicology 170: 89–103.

Gauquie, J., Devriese, L., Robbens, J., DeWitte, B. (2015): A qualitative screening and quantitative measurement of organic contaminants on different types of marine plastic debris. Chemosphere 138: 348–356.

GESAMP (2014): Microplastics in the ocean - a global assessment. GESAMP -IOC, Paris (France); IMO/FAO/IOC/WMO/UNIDO/IAEA/UN/UNEP. Joint Group of Experts on the Scientific Aspects of Marine Environmental Protection 2014.

Gouin, T., Roche, N., Lohmann, R., Hodges, G. (2011): A thermodynamic approach for assessing the environmental exposure of chemicals absorbed to microplastic. Environmental Science &Technology 45: 1466–1472.

Holmes, L.A., Turner, A., Thompson, R.C. (2012): Adsorption of trace metals to plastic resin pellets in the marine environment. Environmental Pollution 160: 42–48.

Hollman, P.C.H., Bouwmeester, H., Peters, R.J.B. (2013): Microplastics in the aquatic food chain: sources, measurements, occurrence and potential health risks. RIKILT Report 2013.003. RIKILT Wageningen UR (University & Research Centre), Wageningen.

Lönnstedt, O.M., Eklöv, P. (2016): Environmentally relevant concentrations of microplastic particles influence larval fish ecology, ecotoxicology. Science 352: 6290.

Lu, Y., Zhang, Y., Deng, Y., Jiang, W., Zhao, Y., Geng, J., Ding, L., Ren, H. (2016): Uptake and accumulation of polystyrene microplastics in zebra fish (Danio rerio) and toxic effects in liver. Environmental Science & Technology 50: 4054–4060.

Lusher, A.L., Tirelli, V., O'Connor, I., Officer, R. (2015): Microplastics in Arctic polar waters: the first reported values of particles in surface and sub-surface samples. Scientific Reports 5: 14947.

Moore, C.J., Lattin, G.L., Zellers, A.F. (2005): Working our way upstream: a snapshot of landbased contributions of plastic and other trash to coastal waters and beaches of Southern California. Proceedings of the Plastic Debris Rivers to Sea Conference. Algalita Marine Research Foundation, Long Beach, CA.

Mor, R., Sivan, A. (2008): Biofilm formation and partial biodegradation of polystyrene by the actinomycetes Rhodococcus ruber. Biodegradation 19: 851–858.

Patel, M.M., Goyal, B.R., Bhadada, S.V., Bhatt, J.S., Amin, A.F. (2009): Getting into the brain: approaches to enhance brain drug delivery. CNS Drugs 23: 35–58.

PlasticsEurope (2015). Plastics - the Facts 2015: An analysis of European Plastic Production, Demand and Waste Data for 2015. Brussels, Belgium.

Reisser, J., Shaw, J., Hallegraeff, G., Proietti, M., Barnes, D.K.A., Thums, M., Wilcox, C., Hardesty, B.D., Pattiaratchi, C. (2014): Millimeter-sized marine plastics: a new pelagic habitat for microorganisms and invertebrates. PLoS One 9 (6), e100289. http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0100289.

Setala, O., Norkko, J., Lehtiniemi,M. (2016): Feeding type affects microplastic ingestion in a coastal invertebrate community. Marine Pollution Bulletin 102: 95–101.

Shim, W.J., Thompson, R.C. (2015): Microplastics in the ocean. Archives of Environmental Contamination & Toxicology 69: 265–268.

Smith, S. (2012): Marine debris: a proximate threat to marine sustainability in Bootless Bay, Papua New Guinea. Marine Pollution Bulletin 64(9): 1880–1883.

Sutherland, W.J., Clout, M., Isabelle, M., Daszak, C.P., Depledge, M.H., Fellman, L., Fleishman, E., Garthwaite, R., Gibbons, D.W., De Lurio, J., Impey, A.J., Lickorish, F., Lindenmayer, D., Madgwick, J., Margerison, C., Maynard, T., Peck, L.S., Pretty, J., Prior, S., Redford, K.H., Scharlemann, J.P.W., Spalding, M.,Watkinson, A.R. (2010): A horizon scan of global conservation issues for 2010. Trends in Ecology & Evolution 25(1): 1–7.

Sutton, R.,Mason, S.A., Stanek, S.K., Willis-Norton, E.,Wren, I.F., Box, C. (2016). Microplastic Contamination in the San Francisco Bay, California, USA. Marine Pollution Bulletin, http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.05.077s.

Trivedi, P., Hasan, A., Akhtar, S., Siddiqui, M.H., Sayeed, U., Khan, M.K.A. (2016): Role of microbes in degradation of synthetic plastics and manufacture of bioplastics. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research 8(3): 211–216.

UNEP, 2015. Massive Online Open Course (MOOC) on Marine Litter (2015): UNEP-University of the Netherlands, UNEP/GPML/GPA/OU/GUPES marinelittermooc.org/learn/marine-litter-mooc-october-2015.

Wagner,M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A.D., Winther-Nielsen, M., Reifferscheid, G. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. Environmental Sciences Europe 26: 12.

Yang, D., Shi, H., Li, L., Li, J., Jabeen, K., Kolandhasamy, P. (2015): Microplastic pollution in table salts from China. Environmental Science & Technology 49(22): 13622–13627.

Zalasiewicz, J., Waters, C.N., Ivar do Sul, J.A., Corcoran, P.L., Barnosky, A.D., Cearreta, A., Edgeworth, M., Galuszka, A., Jeandel, C., Leinfelder, R., McNeill, J.R., Steffen, W., Summerhayes, C., Wagreich, M., Williams, M., Wolfe, A.P., Yonan, Y. (2016): The geological cycle of plastics and their use as a stratigraphic indicator of the Anthropocene. http://dx.doi.org/10.1016/j.ancene.2016.01.002.

Zarfl, C., Matthies, M. (2010): Are marine plastic particles transport vectors for organic pollutants to the Arctic? Marine Pollution Bulletin 60: 1810–1814.