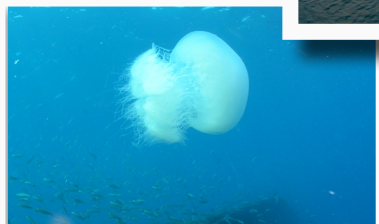


הערכה אסטרטגית ימית רבתי לישראל 2018/19

עורך ראשי: פרופ' שאול חורב
ערך והפיק: אהוד גובן

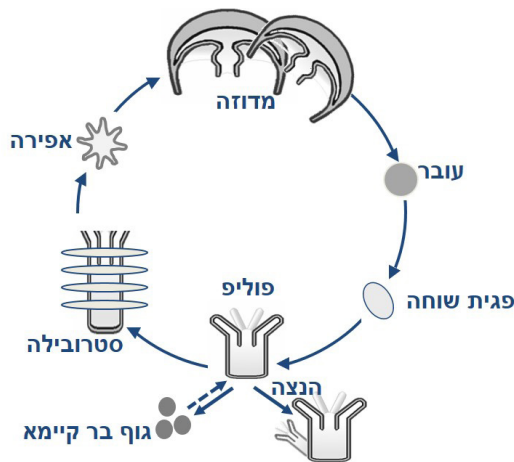


השפעת פריחת המדוזות - היבטים ברמה הלאומית

תמר לוטן

רקע

המדוזות התפתחו לפני למעלה מ-500 מיליון שנה והעדויות המוקדמות ביותר לקיומן נמצאו בצורת מאובנים ותוארכו לתקופת הקמבריון. המושג מדוזה כולל שלוש קבוצות עיקריות: מדוזות הסוכך, שלהן פעמון גדול שיכול להגיע במינים מסוימים עד ל-3 מטר קוטר, מדוזות הקופסא שהפעמון שלהן בצורת מרובע והן כוללות מינים מהארסיים ביותר בעולם והידרו-מדוזות, קבוצה המכילה אלפי מינים החיים כפרטים בודדים או במושבות. למדוזה מחזור חיים מורכב, המשתנה בין המינים השונים, ולרוב כולל שלב ישיב צמוד קרקע, הנקרא פוליפ ושלב פלאגי השוחה בים שהוא למעשה המדוזה (איור 1).



איור 1: מחזור החיים של המדוזה. העובר נוצר ברבייה מינית של המדוזות וממנו מתפתחת פגית שעוברת מטמורפוזה ליצירת הפוליפ. בריבוי א-מיני נוצרים פוליפים נוספים או סטובילה המשחררת אפירות ליצירת המדוזות.

הסיגנל ליצירת המדוזות הינו עונתי וכתוצאה הפוליפ משנה את צורתו ומתחיל לייצר את האפירות, השלב הראשוני בהתפתחות המדוזות. האפירות משתחררות מהפוליפ בגודל מילימטרי ומתפתחות בזמן קצר למדוזות, אותן אנו לרוב יכולים לראות בים. בהתאם למין המדוזה, הפוליפ יכול ליצר בין מדוזה אחת או עשרות מדוזות בעונה. המדוזות נושאות את תאי המין ולאחר הפרייה חיצונית, מתפתחת פגית שעוברת מטמורפוזה ליצירת הפוליפ. הפוליפ הינו השלב הקבוע לאורך השנה ולאחר שחרור האפירות הפוליפ ממשיך לגדול ולשכפל את עצמו על ידי הנצה או שליחת שלוחות ליצירת עשרות פוליפים נוספים.

בנוסף, הפוליפ מייצר גופי רבי קיימא רדומים, שיכולים להתפתח בחזרה למצב פוליפ בתנאי סביבה מתאימים. למעשה, מחזור החיים של המדוזה עמיד בפני תאי סביבה קשים כמו זיהום, מליחות, חוסר חמצן או מזון. גורמים אלו עשויים לגרום לשנים בהם יש פריחות גדולות או לשנים בהן הפריחות קטנות או לא קיימות בכלל. הגורמים המשפיעים על פריחות המדוזות מורכבים ואין היום מודל כללי המאפשר חיזוי של הפריחות. בנוסף, בעשורים האחרונים מתרחשים שינויים במפת המדוזות העולמית ומינים שהיו ייחודיים לאזורים מסוימים התפשטו לאזורים חדשים.

פריחת המדוזות הינה תופעה עולמית הגורמת לא רק לפגיעה בנישות אקולוגיות אלא גם גורמת לנזקים כלכליים על ידי חסימה של צינורות שאיבה של תחנות כוח ומתקני התפלה, פגיעה בחקלאות ימית, בדיג ובתיירות הקיט ובנוסף מהווה מפגע בריאותי לנופשים ומתרחצים. נזקים אלו מתרחשים גם בישראל וברמה הלאומית אין כיום תכנון למניעת נזקים אפשריים במשק החשמל ומי השתייה, המבוססים על תחנות כוח ומתקני התפלה השואבים מים מהים לצורך הפעלתם או לאפשרות שיגיעו מדוזות קטלניות לחופי הארץ. בסקירה זו אפרט את מוקדי הפגיעה הרגישים בישראל כמו גם את האמצעים הקיימים היום בעולם לטיפול בנזקים השונים.

מדוזות בים תיכון בדגש על חופי מדינת ישראל

בים התיכון מצויות כ-20 מדוזות מסוג מדוזות הסוכך (Mariottini & Pane 2010), כאשר פחות ממחציתן מגיעה לחופי הארץ. עד לשנות השמונים של המאה ה-20 המדוזה המצויה (*Rhizostoma pulmo*) הייתה המדוזה האופיינית והנפוצה ביותר בחופי ישראל. ב-1976 זוהתה לראשונה החוטית הנוודת (*Rhopilema nomadica*) (Galil et al. 1990) וכעשר שנים לאחר מכן החלו פריחות עונתיות קבועות של החוטית הנוודת לאורך חופי הארץ (איור 2). פריחות אלו נמדדו בכ- 2.1×10^5 פרטים לקמ"ר על שטח של כ-150 קמ"ר (Lotan et al. 1994; Spanier & Galil 1991; Avian et al. 1995; Öztürk & İsinibilir 2010; Deidun et al. 2011; Gülşahin & Tarken 2011; Yahia et al. 2013). מדוזות נוספות המופיעות בפריחות גדולות בים תיכון (Fuentes et al. 2011) הן הפלגיה (*Pelagia noctiluca*), הקוטילוריזה (*Cotylorhiza tuberculata*) והאורליה (*Aurelia aurita*). מדוזות אלו מגיעות לרוב לחופי ישראל כפרטים בודדים, אם כי במרץ 2014 הגיע במפתיע נחיל גדול של פלגיה לדרום הארץ וגרם לצריבות מתרחצים. מין פולש עולמי של מדוזה בשם פילוריזה (*Phyllorhiza punctata*) הגיע ממערב האוקיינוס השקט לחופי ישראל ובסוף העשור הראשון של שנות ה-2000 נצפו פרטים בוגרים בעלי יכולת רבייה. כיום הפילוריזה עדיין נמצאת במספרים קטנים לאורך חופי הארץ, להבדיל ממקומות אחרים

בעולם בהם המדוזה מייצרת פריחות ענקיות הפוגעות בדיג ומגוון המינים בים (Boero et al. 2009; Verity et al. 2011; Galil et al. 2009).



איור 2: פריחת החוטית הנודדת: חוף הרחצה בחיפה מכוסה במדוזות שנפלטו מהים

בעולם מדווחים מקרי מוות מצריבות מדוזות בעיקר באוקיינוס ההודי בחופי תאילנד, הפיליפינים ואוסטרליה. מקרי מוות נגרמים בעיקר מצריבות של מדוזות הקופסא הנמצאות סביב אזור קו המשווה. נציגה אחת (*Carybdea marsupialis*) של מדוזות הקופסא מצויה בצפון-מערב הים התיכון, באזור ספרד, אך פגיעתה אינה גורמת למוות. מבין ההידרו-מדוזות אצייין בסקירה זו רק את המדוזה הידועה בשם ספינת הקרב הפורטוגזית (*Physalia physalis*), המהווה סכנה לבריאות הציבור. מדוזה זו נעה באמצעות הרוח על ידי שלפוחית ציפה של כ-20 ס"מ, הדומה למפרש של ספינת הקרב הפורטוגלית הקרוולה מהמאה ה-15 ומכאן שמה. מדוזה זו נפוצה לאורך החוף המזרחי והמערבי של ספרד ומגיעה מדי פעם גם למיצר גיברלטר. ב-2010 נצפתה ההידרו-מדוזה בחופי קורסיקה ואיטליה ואף דווח על מקרה מוות, כנראה מהצריבה של המדוזה. במחקר שבדק את התקדמות ההידרו-מדוזה לים התיכון ב-2010 הוצע שההגעה למיצר סיציליה נבעה מתנאים מטאורולוגיים ואוקיינוגרפיים יוצאי דופן ולא כתוצאה ממסלול התקדמות טבעי הנובע משינויי אקלים (Peliz & Ruiz 2015).

תחנות כוח ומתקני התפלה

תחנות הכוח שואבות נפחי מים גדולים לקירור ומתקני התפלה שואבים כמויות גדולות של מים לצורך ההתפלה ויצירת מים מתוקים. בתהליך השאיבה נשאבות גם מדוזות המצויות במים לפיכך השאיבה הקבועה מהים דורשת סינון תמידי של המים הנשאבים על מנת להימנע משאיבת בעלי חיים, צמחים ופסולת. פריחות מדוזות והגעת הנחילים לקרבת החוף גרמה ביפן כבר בשנות ה-60 של המאה העשרים לחסימת מתקני סינון וסגירת תחנת כוח (Purcell et al. 2007). בשנים האחרונות דיווחו עשרות תחנות כוח על האטה בייצור החשמל ולנזקים למערכות ההפעלה כתוצאה משאיבת נחילי המדוזות. יתרה מכך, במקומות שונים בעולם כמו הודו, פיליפינים, יפן, ארה"ב, שוודיה, סקוטלנד ומדינות נוספות פריחת המדוזות גרמה להפסקת פעילות התחנות לפרקי זמן שונים (Purcell et al. 2007; Uye 2014; Graham et al. 2014). לדוגמה: ב-2008 חברת PG&E דיווחה על סגירה ליומיים של אחד משני הריאקטורים בתחנת הכוח הגרעינית Diablo Canyon, המספקת חשמל לכ-3 מיליון איש בקליפורניה (U.S. Nuclear Regulatory Commission Operations Center), ב-2011 דווח על סגירה ליומיים של תחנת הכוח St. Lucie בפלורידה ובאותה שנה נסגרה למשך כשבוע גם תחנת הכוח הגרעינית Torness שבסקוטלנד. ב-2013 בשוודיה נסגרה ליומיים תחנת הכוח Oskarshamn, המספקת 10% מצריכת החשמל בשוודיה. ישראל מוגדרת כ"אי חשמלי" ונדרשת לייצר חשמל לשימוש עצמי ללא גיבוי ממדינות שכנות. למרות שבעשור האחרון חלה ירידה בשימוש בפחם ועלייה בשימוש במקורות גז טבעי ואנרגיות מתחדשות, עדיין כ-32% מאנרגיית החשמל של ישראל, מיוצרת על ידי תחנות כוח פחמיות, הנמצאות לאורך חופי ישראל (רשות החשמל 2017). מדי שנה תחנות הכוח מתמודדות עם פינוי של עשרות טונות של מדוזות שנלכדות במערכת הסינון (איור 3) וגורמות להאטה בייצור החשמל. ב-2011 בעקבות הגעה של נחיל גדול של מדוזות, תחנת אורות רבין בחדרה נאלצה להסגר כתוצאה מחסימת מערך השאיבה של התחנה. בנוסף, הפריחות הגדולות של החוטית הנודדת מגיעות בקיץ, כאשר טמפרטורת מי הים יחסית גבוהה ולכן נדרשת הפעלה מוגברת של משאבות הקירור לעומת עונת החורף. לכן יחד עם הביקוש הגבוה בעונת הקיץ לחשמל, האטת פעילות תחנות הכוח החופיות עלולה לגרום לפגיעה בהספקת החשמל.

מתקני התפלה השואבים מים מהים נאלצים להתמודד עם פריחות המדוזות בכל העולם (Purcell et al. 2007; Peliz & Ruiz 2015). צנרת השאיבה לרוב מוגנת בשיטות שונות כנגד שאיבת בעלי חיים או עצמים אחרים, אבל הגנות אלו אינן נותנות פתרון כנגד פריחה מסיבית של מדוזות ומתקנים אלו נסתמים ומונעים את המשך תהליך ההתפלה (Azis et al. 2015; Miller et al. 2015; Ghermandi et al. 2000). בישראל למעלה מ-80% מהמים השפירים, המסופקים לצרכניים הביתיים והתעשייתיים, מגיעים מ-5 מתקני

התפלה הנמצאים לאורך החוף. מגמה זו רק תגדל בעקבות שינויי האקלים, התייבשות המקורות הטבעיים וגידול האוכלוסייה. בנוסף, הפעלת מתקני ההתפלה דורשת אנרגייה, שכיום מגיעה מאותן תחנות כוח הנמצאות לחופי הארץ. לפיכך, נזק מפריחת מדוזות עלול לפגוע גם באספקת החשמל וגם בייצור מי השתייה.



איור 3: מדוזות שנפלטו מהמסנן של תחנת הכוח אורות רבין

דיג וחקלאות ימית

בעשורים האחרונים נמצא קשר בין דיג יתר לפריחת המדוזות (Richardson et al. 2009; Uye 2011). בישראל מרבית הדיג נעשה על ידי מכמורתנים ולמרות שנמצאה פגיעה במיני דגים, לא הוכח הקשר לפריחת החוטית הנוודדת (Angel et al. 2016). למעשה, הדיג המקומי הינו מצומצם ביותר ותורם פחות מ-5% לדגה הנצרכת בשוק. פריחת המדוזות גורמת להפסדים רבים בשוק הדיג העולמי וניסיונות לצמצם את הנזקים נעשה בעיקר על ידי התראה מראש של הפריחה. ביפן, על בסיס ידע רב שנצבר פותח מודל המאפשר התראה בפני הפריחות. במאמץ משותף של יפן וסין הוצאו מהים מתקנים המהווים מצע להתיישבות השלבים הצעירים במחזור החיים של המדוזה המגיעה ליפן (Uye 2014). כיום אין בידינו את הידע הנדרש בכדי ליצר מודל דומה גם בארץ ונדרשת השקעה במחקר ייעודי להבנת הפריחה והתנאים האוקיינוגרפיים המאפשרים את תפוצתה של החוטית הנוודדת. בנוסף לדיג, פריחת מדוזות גורמת נזק לכלובי הדגים של החקלאות הימית. נחיל מדוזות הנתקל בדרכו בכלובי דגים גורם לתמותה נרחבת של הדגים, כתוצאה מצריבות וחסירת הזימים (Graham et al. 2014; Purcell et al. 2007; Uye 2014). בישראל, החקלאות הימית נמצאת עדיין בשלבי התפתחות ומומלץ לתכנן בהקפדה את מיקום הכלובים, כך שהסיכוי שיפגעו מנחילי המדוזות יקטן.

בריאות הציבור ותיירות

מדוזות מהוות מטרד בחופי הרחצה בכל העולם. לאורך חופי פלורידה נצרכים מאות אלפי מתרחצים, ב-Chesapeake bay מרילנד וירג'יניה נצרכים למעלה מחצי מיליון איש בשנה. בסקר של מצילים שנערך ב-760 תחנות חוף בספרד נמצא ש-60% מהפציעות (כ-116,000 מקרים) נגרמו מצריבות מדוזות. הסקר מצביע על כך כי המדוזות בספרד מהוות מטרד מרכזי למתרחצים (Bordehore et al. 2016). בתאילנד בפיליפינים, במלזיה ובאוסטרליה מתים תיירים ומקומיים כתוצאה מצריבה קטלנית ועשרות אנשים מאושפזים מדי שנה. הנושא של טיפול ומניעת צריבות מדוזות מהווה בעיה ציבורית כלל עולמית. למדוזות תאי צריבה המכילים בתוכם מזרק מיקרוסקופי משוכלל להזרקת רעלים למטרות טריפה והגנה. מזרקים אלו פועלים בלחץ של 150 אטמוספרות ומחדירים בחלקיקי שנייה מחט לגוף המטרה (Beckmann & Özbek 2012; Park et al. 2017). חומרת פגיעת המדוזות משתנה בהתאם לסוג המדוזה מאחר ומדוזות ממינים שונים מכילות בתאי הצריבה שלהן רעלנים מקבוצות שונות (Rachamim et al. 2015). כתוצאה מכך אמצעי ההגנה מפני צריבות מדוזות משתנה בהתאם לאזור הגאוגרפי ולמיני המדוזות הנמצאות בים (Kingsford et al. 2018). באוסטרליה נסגרת לרחצה בעונות מסוימות רצועות חוף ארוכה למניעת מקרי מוות. בנוסף, להגנה מצריבות משתמשים בחופי אוסטרליה בחליפות ליקרה דקות המכסות את גוף המתרחץ מכף רגל ועד הראש. רמת המודעות של התושבים באוסטרליה לסכנה מהמדוזות באזורם היא גבוהה כתוצאה מחינוך וידוע הציבור לאורך זמן וכתוצאה מספר האנשים שמתים כתוצאה מצריבות נמוכה יחסית לעומת הפיליפינים, ששם מתים ילדים רבים מדי שנה מצריבות של מדוזות. בתחילת שנות ה-2000 הוקמו מספר אתרים לטובת הציבור בכל העולם שמטרתם ליידע ולהתריע על נוכחות מדוזות. גם בישראל הוקם אתר <http://www.meduzot.co.il>, המבוסס על עדכונים שוטפים מציבור המתרחצים. בספרד, צרפת ומקומות נוספים קיימת היום אפליקציה טלפונית המעדכנת את המשתמש בנוכחות מדוזות בחופים (לדוגמה <http://medjelly.com>). בנוסף, באירופה המצילים לוקחים חלק פעיל בדיווח על נוכחות מדוזות ובנוסף גם מדווחים על מקרי צריבה. דגל סגול המונף בחוף הינו היום הסמן הבינלאומי לנוכחות מדוזות או בעלי חיים מסוכנים במים. לאחרונה, גם בישראל החלו לסמן בדגל זה חופים בהם יש סכנת צריבה, אבל המצילים עדיין אינם חלק ממערך הדיווח וההסברה. בחלק מהחופים באירופה יש שימוש ברשתות, המיועדות למנוע חדירה של מדוזות לחופי הרחצה, אם כי לא ברורה יעילותן. בספרד, בחופים בהם יש סכנה של מדוזה מסוג ספינת הקרב הפורטוגלית, יש סריקה של הים והוצאה של המדוזות הארסיות מהמים. כמניעה אישית ניתן להשתמש היום בחליפות ליקרה כפי שנעשה באוסטרליה או בקרם הגנה נגד שמש ומדוזות, שיעילותו במניעת צריבה הוכחה בניסיונות קליניים שבוצעו במרכזים רפואיים בישראל, ארה"ב, יפן

ואירופה (Kimball et al. 2004; Boulware 2006). החוטית הנודדת אינה קטלנית, אך צריבתה כואבת מאוד ועלולה לגרום לפציעה קשה ולאנשים רגישים גם לתגובה מערכתית (Mariottini & Pane 2010; Uri et al. 2005; Friedel et al. 2016; Silfen 2003). למרות זאת, היקף הבעיה וכמות האנשים שנצרכת בכל שנה איננו ידוע ואין כל מעקב בנושא. בנוסף, למרות הסיכוי הנמוך שפרטים מסוג ספינת הקרב הפורטוגזית יגיעו לארץ, יש לעדכן את המצילים ורשויות ההצלה בחופים.

מציאות מדוזות בחופים לא בהכרח פוגעת לאורך זמן בתיירות (Tomlinson et al. 2018). מעט מחקרים נעשו על הנזק הכלכלי של המדוזות לתיירות. באוסטרליה מציאות המדוזות הקטלניות אינה מפריעה לתיירות, אבל בעקבות צריבה קשה או מוות של מתרחצים יש ירידה זמנית בתיירות הנופש (Graham et al. 2014). בישראל ההשפעה של המדוזות על תיירות הנופש נבדקה בשאלון על מדגם של כ-160 איש שתוצאותיו צפו ירידה של בין 3%–10.5% במתרחצים בעקבות פריחת המדוזות (Ghermandi et al. 2015). יש צורך במחקרים נוספים, על מנת להעריך האם אכן פריחת המדוזות מהווה שיקול בבחירת יעד הנסיעה של התייר.

סיכום והמלצות

פריחת המדוזות בישראל הינה תופעה החוזרת על עצמה בכל שנה אם כי בעוצמות משתנות. כיום אין לנו את הידע על מנת להבין, לנתח ולחזות את דגם הפריחה ועוצמתה. מומלץ להקים ולשדרג את מנגנוני ההתראה המוקדמת למערך הדיג והנופש על פי המודל האירופאי. על המצילים כמו גם השיטור הימי לדווח על מציאות מדוזות בחוף הרחצה מידי בוקר למרכז שידווח את הנתונים של החוף למתרחצים בעזרת אפליקציה מתאימה. בשנת 2018 שינה משרד הבריאות את ההמלצות לטיפול בצריבת מדוזות וחשוב להדריך את המצילים בישראל כיצד להגיש עזרה ראשונה לטיפול בצריבות ולעדכן את הציבור בנהלים החדשים. חסר לנו היום מידע על מספר הנצרבים, חומרת הצריבה ותופעות לוואי, אם קיימות, בצריבה חוזרת. מומלץ ליצר מערך משולב הכולל את המצילים ומגישי העזרה הראשונה בחוף לאיסוף נתונים אלו. מעקב אחר התגובה לצריבה והבנת היקף הפגיעה בילדים ומבוגרים תאפשר מתן טיפול מתאים יותר לנפגעים.

משרד החקלאות ומינהל התכנון במשרד האוצר נמצאים בימים אלו בהליך תכנוני של אלפי דונם עבור כלובי דגים בים התיכון ומומלץ להכניס לשיקולי בחירת המיקום לכלובים אלו גם אזור שאינו נמצא במסלול התקדמות של נחילי המדוזות בארץ.

הנחילים הגדולים של החוטית הנודדת גורמים מדי שנה להאטה בפעילות תחנות הכוח ולהפרעה לתהליך ההתפלה. ממעט הנתונים שבידינו נראה שהפרעות אלו עדיין לא גרמו

לנוק כלכלי כבד. יחד עם זאת מאחר וישראל תלויה בתפוקה מלאה של יצירת החשמל בתחנות הכוח החופיות ומתבססת בעיקר על התפלה לייצור מי שתייה מומלץ לבחון ברמה הלאומית מציאת פתרון הנדסי-ביולוגי למניעת שאיבת המדוזות. לנושא ההגנה על מתקני החשמל וההתפלה חשיבות אסטרטגית. הפתרון צריך להניח כי אפשרות של עלייה בצפיפות המדוזות בים בסדר גודל ($\times 10$) אינה תסריט בלתי אפשרי. מצב זה עלול לגרום לתקלה משמעותית במשק החשמל והמים של מדינת ישראל, הרשות הפלסטינית וירדן. מדינת ישראל מאופיינת ביכולתה לפתח פתרונות חדשניים והתמקדות בנושא תייצר פתרון שיגן על המערכות הבסיסיות החשובות לכלכלת ורווחת המדינה. בנוסף, מאחר והבעיה של חסימת מערכות השאיבה על ידי מדוזות הינה גלובלית, לפתרון שיושג יהיה גם ערך מסחרי גבוה.

מקורות

רשות החשמל: דוח מצב משק החשמל לשנת 2017.

Angel, D.L., Edelist, D. & Freeman, S. Local perspectives on regional challenges: jellyfish proliferation and fish stock management along the Israeli Mediterranean coast. *Reg Environ Change* 16, 315-323 (2016).

Avian, M., Spanier, E. & Galil, B. Nematocysts of *Rhopilema nomadica* (Scyphozoa: Rhizostomeae), an immigrant jellyfish in the Eastern Mediterranean *J. Morphol.* 224, 221-231 (1995).

Azis, P.A. et al. Effects of environment on source water for desalination plants on the eastern coast of Saudi Arabia. *Desalination* 132, 29-40 (2000).

Beckmann, A. & Özbek, S. The nematocyst: a molecular map of the cnidarian stinging organelle. *Int. J. Dev. Biol.* 56, 577-582 (2012).

Boero, F. et al. First records of *Mnemiopsis leidyi* (Ctenophora) from the Ligurian, Thyrrenian and Ionian Seas (Western Mediterranean) and first record of *Phyllorhiza punctata* (Cnidaria) from the Western Mediterranean. *Aquat Invasions* 4, 675-680 (2009).

Bordehore, C. et al. Lifeguard assistance at Spanish Mediterranean beaches: Jellyfish prevail and proposals for improving risk management. *Ocean Coast Manag* 131, 45-52 (2016).

Boulware, D.R. A randomized, controlled field trial for the prevention of jellyfish stings with a topical sting inhibitor. *J. Travel Med.* 13, 166-171 (2006).

Deidun, A., Arrigo, S. & Piraino, S. The westernmost record of *Rhopilema nomadica* (Galil, 1990) in the Mediterranean—off the Maltese Islands. *Aquat Invasions* 6, S99–S103 (2011).

Friedel, N., Scolnik, D., Adir, D. & Glatstein, M. Severe anaphylactic reaction to mediterranean jellyfish (*Ropilhema nomadica*) envenomation: Case report. *Toxicology Reports* 3, 427-429 (2016).

Fuentes, V. et al. Life cycle of the jellyfish *Rhizostoma pulmo* (Scyphozoa: Rhizostomeae) and its distribution, seasonality and inter-annual variability along the Catalan coast and the Mar Menor (Spain, NW Mediterranean). *Mar. Biol.* 158, 2247-2266 (2011).

Galil, B.S., Shoval, L. & Goren, M. *Phyllorhiza punctata* von Lendenfeld, 1884 (Scyphozoa: Rhizostomeae: Mastigiidae) reappeared off the Mediterranean coast of Israel. *Aquat Invasions* 4, 381-389 (2009).

Galil, B.S., Spanier, E. & Ferguson, W.W. The Scyphomedusae of the Mediterranean coast of Israel, including two Lessepsian migrants new to the Mediterranean. *Zoologische Mededelingen* 64, 95–105 (1990).

Ghermandi, A., Galil, B., Gowdy, J. & Nunes, P.A.L.D. Jellyfish outbreak impacts on recreation in the Mediterranean Sea: welfare estimates from a socioeconomic pilot survey in Israel. *Ecosystem Services* 11, 140-147 (2015).

Graham, W.M. et al. Linking human well-being and jellyfish: ecosystem services, impacts, and societal responses. *Front. Ecol. Environ.* 12, 515-523 (2014).

Gülşahin, N. & Tarken, A.N. The first confirmed record of the alien jellyfish *Rhopilema nomadica* Galil, 1990 from the southern Aegean coast of Turkey *Aquat Invasions* 6, Supplement 1: S95–S97 (2011).

Kimball, A.B. et al. Efficacy of a jellyfish sting inhibitor in preventing jellyfish stings in normal volunteers. *Wilderness Environ Med* 15, 102-108 (2004).

Kingsford, M. et al. Empowering Stakeholders to Manage Stinging Jellyfish: A Perspective. *Coast Manag* 46, 1-18 (2018).

- Lotan, A., Fine, M. & Ben-Hillel, R. Synchronization of the life cycle and dispersal pattern of the tropical invader scyphomedusan *Rhopilema nomadica* is temperature dependent. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 109, 59-65 (1994).
- Lucas, C.H., Gelcich, S. & Uye, S.-I. Living with jellyfish: management and adaptation strategies, in *Jellyfish Blooms*. (eds. K.A. Pitt & C.H. Lucas) 129-150 (Springer, 2014).
- Mariottini, G.L. & Pane, L. Mediterranean jellyfish venoms: A review on scyphomedusae. *Mar. Drugs* 8, 1122–1152 (2010).
- Miller, S., Shemer, H. & Semiat, R. Energy and environmental issues in desalination. *Desalination* 366, 2-8 (2015).
- Öztürk, B. & İsinibilir, M. An alien jellyfish *Rhopilema nomadica* and its impacts to the Eastern Mediterranean part of Turkey. *J. Black Sea/Mediterranean Environment* 16, 149–156 (2010).
- Prieto, L., Macías, D., Peliz, A. & Ruiz, J. Portuguese Man-of-War (*Physalia physalis*) in the Mediterranean: A permanent invasion or a casual appearance? *Sci. Rep.* 5 (2015).
- Park, S. et al. The nematocyst's sting is driven by the tubule moving front. *J R Soc Interface* 14, 20160917 (2017).
- Purcell, J.E., Uye, S. & Lo, W. Anthropogenic causes of jellyfish blooms and their direct consequences for humans: a review. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 350, 153-174 (2007).
- Rachamim, T. et al. The dynamically evolving nematocyst content of an Anthozoan, a Scyphozoan, and a Hydrozoan. *Mol. Biol. Evol.* 32, 740-753 (2015).
- Richardson, A.J., Bakun, A., Hays, G.C. & Gibbons, M.J. The jellyfish joyride: causes, consequences and management responses to a more gelatinous future. *Trends Ecol. Evol.* 24, 312-322 (2009).
- Silfen, R., Vilan, A., Wohl, I. & Leviav, A. Mediterranean jellyfish (*Rhopilema nomadica*) sting. *Burns* 29, 868-870 (2003).
- Spanier, E. & Galil, B.S. Lessepsian migration: a continuous biogeographical process. *Endeavour* 15, 102–106 (1991).

Tomlinson, B. et al. Systems approach modelling of the interactive effects of fisheries, jellyfish and tourism in the Catalan coast. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 201, 198-207 (2018). Uri, S., Marina, G. & Liubov, G. Severe delayed cutaneous reaction due to Mediterranean jellyfish (*Rhopilema nomadica*) envenomation. *Contact Dermatitis* 52, 282-283 (2005).

U.S. Nuclear Regulatory Commission Operations Center, Event notification report for October 22, 2008.

Uye, S.-i. Human forcing of the copepod–fish–jellyfish triangular trophic relationship. *Hydrobiologia* 666, 71-83 (2011).

Verity, P.G., Purcell, J. & Frischer, M. Seasonal patterns in size and abundance of *Phyllorhiza punctata*: an invasive scyphomedusa in coastal Georgia (USA). *Mar. Biol.* 158, 2219-2226 (2011).

Yahia, M.N.D. et al. The invasive tropical scyphozoan *Rhopilema nomadica* Galil, 1990 reaches the Tunisian coast of the Mediterranean Sea. *BioInvasions Rec* 2, 319-323 (2013).