

## שירותי ויסות – הפרק המלא

מחברים מובילים: ז'וזה גרינצוויג, אלי ארגמן

עוזרת מחקר: דנה שריד-חמו

מחברים תורמים: רועי אגוזי, יובל גוטליב-דרור, ארנון דג, לאה ויטנברג, פיליס וינטראוב, ערן טס, שבתאי כהן, יעל לובין, יואב מוטרו, אפרת מורין, יעל מגדליק, גדעון פיזנטי, כרמי קורין, דניאל קורצמן, אייל רוטנברג

### תוכן עניינים

2	הקדמה
3	1. ויסות אקלים עולמי
8	2. ויסות אקלים מקומי
16	3. ויסות אירועי קיצון
26	4. ויסות תהליכי סחף קרקעות, מיתון סופות חול ואבק
35	5. האבקת גידולים חקלאיים
43	6. ויסות מזיקים בחקלאות ומטרדים לאדם
51	7. ויסות מחלות בחיות משק המועברות ע"י פרוקי רגליים
54	8. ויסות איכות האוויר
59	9. מקורות

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: גרינצוויג, ז' וארגמן, א' (עורכים). (2018). שירותי ויסות – הפרק המלא.

## הקדמה

שירותי הוויסות הם תהליכים במערכות האקולוגיות התורמים ליצירת תנאי סביבה מתאימים ונוחים יותר עבור האדם, וחלק מהם הכרחיים לקיומו. המערכת האקולוגית על רכיביה הביולוגיים מעורבת בקיומם או בוויסותם של תהליכים אלה, והם מספקים תועלת ישירה או עקיפה לאדם. על פי רוב, התהליכים הללו משפיעים על התנאים הביוטיים והאביוטיים בסביבה שאנו חיים בה, ומאפשרים את קיומו של האדם ואת רווחתו. הם כוללים, למשל, ויסות של האקלים המקומי והעולמי, של כמות המים ואיכותם, של איכות האוויר ושל שיטפונות וסחיפת קרקע, וכן בקרת מזיקים והאבקה של גידולים חקלאיים. על אף חשיבותם הרבה לקיום האדם על פני כדור הארץ, שירותי הוויסות מוכרים פחות לציבור בהשוואה לשירותי האספקה ולשירותי התרבות. מדובר בתהליכים מורכבים שבדרך כלל נסתרים מעינינו, וגם בעולם המדעי המנגנונים שמאחורי שירותים אלה והמרכיבים המעורבים בהם, אינם מוכרים ומובנים דיים. כאשר שירותי הוויסות מתפקדים היטב ומספקים את התועלת עבור האדם, אין הם מורגשים באופן מוחשי, ורק כאשר הם נפגעים, לרוב בעקבות פעולה כלשהי של האדם, אנחנו מרגישים בחסרונם. לכן, מטרותיו העיקריות של פרק זה הן להציג את שירותי הוויסות ואת חשיבותם לאדם, וכן לסכם את המידע הקיים לגבי אספקת שירותים אלה על ידי המערכות האקולוגיות השונות של ישראל. נוסף על כך, מתוארים בפרק הגורמים מחוללי השינוי המשפיעים על אספקת שירותי הוויסות ואופן השפעתם. התיאור מסוכם עבור כל שירות ושירות ועיקריו מופיעים בתוך ממצאי המפתח. המידע המסוכם בפרק מתבסס על מחקרים ומאמרים מישראל וגם מהעולם (במקומות שחסר מידע מישראל), ועל דו"חות, סקרים וראיונות אישיים עם מומחים שונים בישראל. חלק מהמידע כאן מבוסס על מידע שנאסף לטובת פרקי המערכות האקולוגיות בפרויקט ונלקח מהם.

# 1. ויסות אקלים עולמי

## 1.1 כללי

### 1.1.1 תיאור השירות והתועלות הנובעות ממנו

שרות ויסות האקלים הגלובלי באמצעות המערכות האקולוגיות של ישראל מהווה תרומה מקומית למיתון של שינוי מגמתי גלובלי באקלים כדור הארץ שאחד מביטוייו הוא עליה הדרגתית בטמפרטורת האטמוספירה. מזג אוויר הוא מכלול של משתנים רגועים, כגון טמפרטורה, גשם ורוחות, בעוד שאקלים הוא מיצוע של אירועי מזג אוויר לטווח הארוך ונשאר יציב וצפוי. למרות היציבות היחסית של האקלים, מוערך היום על ידי מרבית מדעני האקלים בעולם כי במהלך המאה הנוכחית תעלה הטמפרטורה הממוצעת של פני כדור הארץ ב-1-4 מ"צ (IPCC, 2013). בנוסף מוערך כי תנאי היובש באגן הים התיכון יהיו קיצוניים יותר יחסית למרבית שטחי היבשות בעולם (Feng and Fu, 2013).

היציאה משיווי משקל של האקלים בעולם נובעת בעיקר משינוי בריכוזם של מספר גזים באטמוספירה, המכונים "גזי חממה". גזי החממה קולטים חלק מקרינת החום שנפלטת מכדור הארץ לחלל וגורמים ל"אפקט החממה" הטבעי, בלעדיו הטמפרטורה הממוצעת של כדור הארץ הייתה נמוכה בכ- 30 מ"צ וספק אם היו מתקיימים בו חיים. אולם כיום האדם גורם להגברת אותו אפקט חממה ולהתחממות יתר של כדור הארץ, בעיקר על ידי פליטה בקנה מידה גדול של פחמן דו-חמצני ( $CO_2$ ), החשוב מבין גזי החממה. פליטת פחמן דו-חמצני נובעת משני מקורות אנתרופגניים עיקריים: שריפת דלקים מאובנים (fossil fuel), דוגמת פחם, נפט גולמי וגז טבעי מחד והפחתה בכמות הפחמן האורגני האגורה על פני היבשות כתוצאה מכריתת ושריפת יערות טרופיים, שינוי בשימוש הקרקע לחקלאות ופיתוח תשתיות מאידך. גזי חממה חשובים נוספים שריכוזם באטמוספירה עלה משמעותית בעקבות פעילות האדם הם מתאן ( $CH_4$ ) וחמצן דו-חנקני ( $N_2O$ ).

שירות ויסות האקלים העולמי מקורו בראש וראשונה בלכידת פחמן (שכונה בטעות "קיבוע פחמן" בעבר) על ידי מערכות אקולוגיות טבעיות או מנוהלות אדם. פחמן דו-חמצני המקובע בתהליך הפוטוסינתזה הוא מקור הפחמן העיקרי לצמחים ולמארגי המזון בעולם, אך רק אחוזים ספורים בלבד מהפחמן הנקלט בצמחים ביבשה ובפיטופלנקטון (אורגניזמים זעירים הצפים במים) בים נלכד לאורך שנים. מאגרי הפחמן האורגני העיקריים ביבשה נמצאים בחומר צמחי, כגון עצה (החומר המעוצה בתוך עצים ושיחים), ובחומר אורגני בקרקע. בים, מאגרי הפחמן נמצאים בביומסה של פיטופלנקטון, במולקולות אורגניות מסיסות ומרחפות בגוף המים, ובחומר אורגני המגיע לקרקעית הים בתהליך המכונה "המשאבה הביולוגית" (Chisholm, 2000). לכידת פחמן בצומח, בקרקע ובים נחשבת כאחת הדרכים העיקריות למיתון התחממות האקלים, כפי שמתבטא בדוחות בין-לאומיים (IPCC, 2013). מנגנון לכידת הפחמן של שרות ויסות האקלים הגלובלי ממתן את מגמת התחממות האטמוספירה ובעקבותיה מתמתנת העצמת שינויי האקלים הגלובליים, שכן בהעדר שרות זה מגמת שינויי האקלים היו הולכים ומתגברים מעבר למדיהם הנוכחיים.

מונח מרכזי נוסף הוא ה"אלבדו", היחס בין שטף הקרינה הסולרית המוחזרת ממשטח מסוים לבין סך הקרינה המגיעה מהשמש לאותו משטח (Gates, 1980). מונח זה מבטא את יכולת החזרת קרינת השמש מהמשטח, כגון עלה או קרקע, לאטמוספירה. באזורים צחיחים וצחיחים למחצה, לעיתים קרובות קרקע מכוסה בצמחייה מעוצה הינה בעלת אלבדו נמוך יותר מאשר קרקע חשופה ולכן תחזיר פחות קרינה לאטמוספירה, ובעקבות כך תבלע יותר מקרינת השמש ותביא להתחממות. לכיסוי צמחי אפוא שני אפקטים: א) מיתון העלייה בריכוז פחמן דו-חמצני ומיתון חימום של האטמוספירה על

ידי לכידת פחמן, ו-ב) אפקט מנוגד למיתון ההשפעות של שינוי אקלים על ידי ירידה באלבדו. האפקט השני בא לידי ביטוי בעיקר בעקבות שינוי שימוש הקרקע, ובעיקר במקרה של ייעור באזורים עם מיעוט צמחיה טבעית (Rotenberg and Yakir, 2010). מערכות אקולוגיות בוגרות לוכדות פחמן בלי לשנות את האלבדו שלהם ולכן חיוניות לשרות ויסות האקלים העולמי. תועלת השרות לכלל האנושות היא במיתון מכלול הנזקים הצפויים לאדם ולסביבה בעקבות שינוי האקלים, ובכלל זה מיתון של אפקט אי החום העירוני, צמצום שריפות יער ושיטפונות, ומניעת ירידה בייצור מזון ובאספקת מים.

### 1.1.2. תיאור מרחבי של אספקת השירות

מבין המערכות האקולוגיות היבשתיות בארץ, יערות נטועים וחורשים טבעיים צפויים להיות בעלי הפוטנציאל הגדול ביותר ללכידת פחמן. עם העלייה בכמות הגשם במפל המשקעים בישראל המאזן בין לכידת פחמן וירידה באלבדו (ראה פרק למעלה) צפוי לנוע לכיוון עדיפות ללכידת פחמן ומיתון התחממות האקלים (Ramati, 2015). לגבי חורשים טבעיים, אין לנו כיום נתונים אודות לכידת פחמן (אבל ראה הערכה בהמשך). יש לציין כי לכידת פחמן הוא המרכיב היחיד של מאזן גזי החממה עבורו קיימים איזה שהם נתונים בארץ.

לעומת יערות וחורשים, שטחים חקלאיים צפויים ללכוד פחות פחמן, אם בכלל. יתכן אפילו ושטחים אלה יהיו מקור לגזי חממה, כלומר יפלטו גזי חממה לאטמוספירה, כפי שנמצא לגבי פחמן דו-חמצני וחמצן דו-חנקני באירופה (Ciais et al., 2010). ככלל אצבע, ככל שהחקלאות משתמשת בממשק אינטנסיבי יותר, כך יותר פחמן אורגני מתפרק בקרקע ועל ידי כך גורם לפחיתת השירות. הצומח החקלאי אמנם קולט פחמן דו-חמצני מהאוויר בתהליך הפוטוסינתזה, אך היות והיבולים נקצרים ונלקחים מהמערכת רוב הפחמן חוזר לאטמוספירה בסופו של דבר. מנגד, חקלאות משמרת (וייץ וגרינצוויג, 2014) כמו גם גידולי מטע כן עשויות לשפר את מאזן גזי החממה של השטחים החקלאיים בארץ.

במערכת הימית, יצרנות ראשונית מתגברת בעונת החורף, כאשר שיטפונות מסיעים למים העליונים סחף יבשתי של קרקעות עשירות בחומרי הזנה, וסערות ים מערבלות את משקעי קרקעית הים המכילים חומרי הזנה ומעלות אותם למים העליונים. העשרה עונתית זו של המים העליונים בחומרי הזנה מגבירה את עוצמת ייצור הביומסה על ידי פיטופלנקטון ובכך גדלים קצבי הפוטוסינתזה במי הים ומתגברת לכידת הפחמן בתרכובות אורגניות מושקעות לעומק.

### 1.1.3. המגוון הביולוגי המעורב באספקת השירות

במחקרים רבים בעולם נמצא כי יצור ראשוני (יצור ביומסה צמחית) ביחידת נוף עולה עם העלייה במגוון הביולוגי בה, כאשר המגוון נמדד לרוב כעושר (מספר) מיני הצמחים. אולם כמעט ואין מידע בספרות המדעית העולמית על השפעת המגוון הביולוגי על לכידת פחמן או על מאזן גזי החממה.

כאשר צמחים לוכדים פחמן, עיקר הביומסה מתרכזת בחומר המעוצה. לכן, כמות הפחמן הנאגר בצמחייה העל-קרקעית עולה כתלות בסוג תצורת הצומח ובצפיפות הצומח: עצים נמוכים < שיחים גבוהים < שיחים נמוכים < בני שיח < צומח עשבוני (Koniak et al., 2011). בדומה, עצים ביער צחיח למחצה אוגרים כמות הרבה יותר גבוהה של פחמן מאשר בני שיח בבתה סמוכה, הן בגזע והחופה והן בשורשים, ובעקבות כך גם כחומר אורגני בקרקע (Grünzweig et al., 2007; Gelfand et al., 2012).

## 1.2. מצב נוכחי

### 1.2.1. השיטות לכימות אספקת השרות וכימות אספקתו הנוכחית

שיטות כימות השירות כוללות גישות למדידת שטפים מחד וגישות לכימות מאגרים מאידך. בבסיס המדידות על פי גישת השטפים עומדים חיישנים המודדים, בשיטת קורלציית הערבולים (eddy covariance), את שטפי גזי חממה בין המערכת האקולוגית לבין האטמוספירה. מדידות שטפים אלו מייצגות שטח מכוסה צומח ברדיוס של מאות מטרים עד קילומטרים ספורים סביב תחנת המדידה. במטרה להרחיב את התובנות העולות ממדידות אלו לכלל שטח היבשות, מקושרים נתונים אלו עם נתונים המנותחים מתצפיות לוויינים המכסים את כל שטח פני כדור הארץ. התובנות והנתונים המתקבלים מרשת התחנות העולמי FluxNet (<http://fluxnet.ornl.gov>) משולבים באופן אינטגרטיבי במודלים לזרימה גלובלית (GCM) המשמשים לחזוי תנאי האקלים על פני כדור הארץ לעתיד.

בגישה לכימות מאגרים חוזרים מדי מספר שנים לאותו אזור ודוגמים את כל מאגרי הפחמן בו, בעיקר הפחמן בצומח והחומר האורגני בקרקע. מההפרשים של מאגרי פחמן לאורך זמן ניתן ללמוד על לכידה או פליטה של פחמן לתקופת הזמן המסוימת. כדי ללמוד על לכידת פחמן לאחר ייעור, ניתן להשוות את מאגרי הפחמן ביער הנטוע למאגרים בשטח המקורי הטבעי ולחשב את ההפרשים כאשר מניחים שלכידת הפחמן במערכת האקולוגית הטבעית זניחה (Grünzweig et al., 2007).

### 1.2.2. כימות התועלת לאדם מהשרות, וזיהוי המשתמשים

התועלות שמופקות משירות וויסות האקלים הגלובלי נוגעות לכל אחד ואחת מאתנו וההשלכות על איכות חיינו הינן רבות. שירות וויסות האקלים הגלובלי נועד לשמור על הביוספרה בה אנו חיים ולמתן נזקים ישירים ועקיפים של שינויי האקלים. שינויים אלה הכוללים בין היתר עליה בתחלואה המועברת על ידי וקטורים חיים כגון יתושים, פגיעה בריאותית מזיהום אוויר גבוה, פגיעה מעליה באירועי חום קיצוניים, עליה בשריפות יער, עליה באירועי בצורות ושיטפונות, הפשרת קרחונים שתגרום להצפת אזורי חוף מיושבים, ירידה בכמות ובאיכות יבולים חקלאיים, ועוד (Smith et al., 2011).

נתונים מהמערכת הימית מצביעים על תועלת כלכלית שנתית של 7.7 עד 38.2 מיליון \$ לשנה (נכון לשנת 2015), כתוצאה מלכידת פחמן בקרקעית האזור הכלכלי הבלעדי של ישראל בים התיכון (Peled et al., 2016). הנזקים שעלולים לנבוע משינויי האקלים לכלכלת ישראל לא נאמדו, אך הנזקים לכלכלת העולם עלולים להיות משמעותיים ביותר, כפי כומתו בפעם הראשונה בהיקף גדול בסקירה של ניקולס סטרן (Stern, 2006).

## 1.3. מגמות באספקת השרות

### 1.3.1. גורמים מחוללי שינוי באספקת השרות

מגוון גורמים ישירים ועקיפים מסוגלים להשפיע על שירות הוויסות האקלים הגלובלי. גורם ישיר ראשון הוא סילוק מערכת אקולוגית טבעית והפיכתה לפיתוח עירוני או לשטח חקלאי, אשר כך או כך יפגעו בשירות ויסות האקלים. התחממות גלובלית ועמה הפחתה בכמות ובמשטר הגשמים היורדים והגברת דרישת מים באוויר (אוויר חם ויבש יותר) החזויים עלולים להפחית את קצב הפוטוסינתזה ואף להוביל לתמותת עצים ולמדבור (Le Houérou, 1996; Klein & Hartmann, 2018). מנגד עליה בריכוז הפחמן הדו-חמצני באטמוספירה עשוי להקטין את איבוד המים ולהקל על המחסור

החזוי במים כי בריכוז גבוה של פחמן דו-חמצני צמחים מצמצמים את פתיחת הפיוניות (פתחים בעלים שמוסטים את קליטת הפחמן הדו-חמצני ואיבוד המים) ובכך חוסכים במים; אולם, ההשפעה המטיבה של פחמן דו-חמצני אטמוספרי על צמחים עלולה להיחלש בעתיד הקרוב (Peñuelas et al., 2017). כמו כן גם שינויים בריכוזי גזים אחרים באוויר המביאים לזיהום, דוגמת גז האוזון, עלולים להוות גורם ישיר לפגיעה בצמחים. גורמים עקיפים כוללים תוצאות לוואי של שינויים אקלימיים, כגון עליה באוכלוסיות מזיקים הפוגעים בצמחים או עליה בתדירות ובהיקף שריפות יער בהן משתחררות בזמן קצר כמויות גדולות מאוד של פחמן שנאגרו במשך שנים במערכת האקולוגית.

בנוסף, קיימת אי ודאות בארץ הנובעת מהדינמיקה של יערות מאחר והיערות הנטועים בישראל צעירים יחסית. השפעות התבגרות היערות, החלפת עצים בין דורית והפיכת יערות למעורבים על מידת לכידת הפחמן ואף על שרידותם של היערות בישראל אינה ניתנת להערכה היום.

### 1.3.2 מצב, אספקה ומשתמשים ב-15 השנים האחרונות

כמות הפליטה הכוללת של גזי חממה בישראל בשנת 2014 עמד על כ- 18.4 מיליון טון פחמן (החישוב ממיר את כל גזי החממה לשווה ערך לפחמן דו-חמצני מבחינת השפעתם על חימום האטמוספירה ואז לוקח בחשבון את יסוד הפחמן בתוך הפחמן הדו-חמצני) (המשרד להגנת הסביבה, 2015). פליטות גזי החממה בישראל נובעים בעיקרן מהשימוש העולה בתחבורה יבשתית וייצור חשמל, כלומר רוב רובם של גזי החממה מקורם בשריפת דלקים.

ברמה העולמית, הצומח ובעיקר היערות הקיימים על פני כדור הארץ לוכדים קרוב ל- 30% מכלל הפחמן הנפלט ע"י פעילות האדם (Le Quéré et al., 2018). בנוסף ראוי לציון כי למערכות אקולוגיות יובשניות תרומה חשובה בלכידת הפחמן העולמי, לפחות בשנים רטובות יותר (Poulter et al., 2014; Ahlström et al., 2015). מידע על לכידת פחמן רב שנתי ליחידת שטח קיים בישראל היום בעיקר לגבי יער יתיר שבצפון הנגב. בממוצע, קצב הלכידה לשנים 2000-09 עמד על כ- 200 ק"ג פחמן לדונם לשנה (Rotenberg and Yakir, 2010). בנוסף, קצב הלכידה של פחמן אורגני בקרקע של יער יתיר בין השנים 1967-2002 נאמד בכ- 50 ק"ג פחמן לדונם לשנה (Grünzweig et al., 2007). ביערות ים תיכוניים בעלי תת יער מפותח כדוגמת אשתאול ובריה נמדד קצב לכידה של 2.6 ק"ג פחמן לדונם ליום בעונה הרטובה ו-1.2 ק"ג פחמן לדונם ליום בעונה היבשה (Ramati, 2015).

בבתות שיחניות לאורך מפל משקעים בארץ (מ- 780-90 מ"מ גשם) נמצא כי מאגר הפחמן האורגני בשכבת הקרקע העליונה (10 ס"מ) מתחת לשיחים יורד בצורה לינארית מ- 2.7 טון פחמן לדונם באזורים הים תיכוניים הלחים ל- 0.7 טון לדונם באזורים הצחיחים (Talmon et al., 2011). בדגימות קרקע שנלקחו בכתמים עשבוניים בין שיחים היחס דומה ונע בין 2.5 טון לדונם באזורים הלחים ל 0.3 טון לדונם באזורים הצחיחים. מחקר זה סיפק נתונים על מאגרים (מסת פחמן ליחידת שטח), אך לא על שטפים ברמה האקוסיסטמית (לכידה של מסת פחמן ליחידת שטח וזמן). למרות זאת ניתן להניח על פי המגמה הברורה של מאגרי הפחמן כי גם לכידת הפחמן תרד בצורה ניכרת עם ירידה בכמות המשקעים. ההערכה הממוצעת של לכידת פחמן ביערות ירוקי עד הגדלים סביב אגן ים התיכון עומדת על 380 ק"ג פחמן לדונם לשנה (Luyssaert et al., 2007).

נכון ל- 2016, שטחי היערות הנטועים והחורשים בישראל עמדו על 1.15 מיליון דונם, כ- 5.2% משטח מדינת ישראל (למ"ס, 2017). בהנחה שלכידת פחמן בשטחים אלה כלכידה ביערות ירוקי עד ים תיכוניים (ראה למעלה), היערות

הנטועים והחורשים בישראל לוכדים יחדיו 0.42 מיליון טון פחמן לשנה, כ- 2.4% מכלל גזי החממה הנפלטים ממקורות האדם בישראל בשנת 2014. לפני כ-20 שנה העריכו Koch et al. (2000) את לכידת הפחמן על ידי יערות וחורשים בישראל בכ- 0.10 מיליון טון פחמן לשנה בלבד. עם זאת, ברור כי גם במידה ותתרחש הגדלה משמעותית של יערות בעתיד הקרוב, אם הדבר בכלל אפשרי או רצוי מבחינה אקולוגית וסביבתית וקצב לכידת הפחמן לא יפגע עקב התבגרות העצים ושינויי האקלים, הפער בין פליטות ללכידה במדינת ישראל רק ילך ויגבר עקב הגידול הצפוי בשריפת דלקים.

במערכת הימית, קצב לכידת הפחמן האטמוספירי באזור הכלכלי הבלעדי של ישראל בים התיכון הוערך בכ- 15.7 ק"ג לדונם לשנה ובכ- 0.43 מיליון טון פחמן לשנה עבור כל האזור הכלכלי הבלעדי (Peled et al., 2018). ערך זה דומה להערכה אחרת עבור הים התיכון המזרחי (15.7 ק"ג לדונם לשנה; Gogou et al., 2014). סך קצב לכידת פחמן מן האטמוספירה במפרץ אילת הוערך בכ- 100 ק"ג לדונם לשנה (Erez et al., 2003). ביחד, המערכות האקולוגיות היבשתיות והימיות לוכדות כ-5% מסך הפליטות בישראל. לסיכום, חשוב להבין כי לוויסות אקלימי אין השפעה נקודתית אזורית, אלא מדובר על השפעה נרחבת שכוללת את כל האטמוספירה ולכן למדיניות ציבורית חשיבות גלובלית (Smith et al., 2011). כמו כן יש לזכור כי העלייה בפליטות פחמן דו-חמצני מייצגת פיתוח שאינו בר-קיימא מאחר שהיא קשורה לניצול משאבים בלתי מתחדשים על כדור הארץ בהווה על חשבון הדורות הבאים שהם גם אלה שיישאו בתוצאות שינויי האקלים (קפלן וחוב, 2009).

#### 1.4 פערי ידע

פערי ידע מהותיים קיימים בהבנתנו את התהליכים של שירות ויסות האקלים הגלובלי ברמת המערכת האקולוגית. לא ברור כיצד השירות יתמודד מול מכלול גורמים משתנים רבים כדוגמת שנויים בטמפרטורה וריכוזי הגזים באוויר וירידה בכמות המשקעים. פערים דומים קיימים לגבי תפקוד מערכות אקולוגיות על מגוון הרחב במיוחד בחלק זה של העולם וכיצד השנויים ישפיעו על חילופי האנרגיה עם האטמוספירה ועל האקלים באזור. בסופו של דבר הידע שבידינו אודות לכידת פחמן באופן פרטני ומאזן גזי החממה באופן רחב בשטחים הטבעיים ובשטחים בניהול האדם הינו מצומצם ביותר כך שאינו מאפשר לקבל תמונה מלאה על מידת תועלת השירות בארץ.

## 2. ויסות אקלים מקומי

### 2.1 כללי

#### 2.1.1 מהות השרות

תכסית הצומח בישראל מווסתת את תחושת הנוחות האקלימית (נקראת גם "נוחות תרמית") של האדם, המוגדרת כמצב נפשי בו האדם מרוצה מהסביבה התרמית שלו, בטווח הקרבה למקומו כאשר הוא נמצא בשטח הפתוח של המערכות האקולוגיות ([ANSI/ASHRAE Standard 55-2004](#)). הצמחייה ממתנת את טמפרטורת האוויר שבקרבתה על ידי הצללה וקירור באידי (פוצ'טר וחוב', 2012), אשר יחד מפחיתים את עומס החום לאדם בכשתי דרגות מתוך שש הדרגות של סולם השירות המטאורולוגי (Saaroni et al., 1999; Saaroni et al., 2003; Lin, 2009), ומביאים לתחושת נוחות- 19-23 מ"צ (כהן, פוצ'טר וביתן, 2007). רוב הביקוש של שרות ויסות האקלים המקומי המסופק על ידי המערכות האקולוגיות בישראל הוא למיתון עומס החום, עם זאת, טמפרטורות החורף במערכות האקולוגיות המדבריות יוצרות גם ביקוש לוויסות עומס הקור.

#### 2.1.2 מנגנון הפקת השירות

תכסית הצומח, בעיקר צומח מעוצה (עצים ושיחים גדולים), מווסתת את האקלים שבסביבתה לאקלים נוח יחסית עבור האדם, באמצעות המנגנונים הבאים:

1. המנגנון העיקרי הוא **הצללה** על ידי המבנה הפיסי של העץ וצמרתו, החוסמת חלק מהקרינה הישירה ובכך מקלה על תחושת עומס החום הקיצי (Hoffman and Bar-Shashua, 2001; Givoni, 1991) אצל פוצ'טר וחוב', (2012). מבנה זה של העצים גם לוכד תחת הצמרות את החום שנקלט בקרקע במשך היום ובכך מעלה את טמפרטורות האוויר הקר בלילה חורפי קר ובבוקר לפני עלות השחר (Potchter et al., 2012).
2. **אידי** (אוופטרנספירציה): נידוף של אדי מים מהקרקע ודיות<sup>1</sup> דרך פיוניות העלווה. התאדות המים גורמת להפחתת טמפרטורות ולקירור הסביבה (Oke, 1987; Spronken-Smith, Oke, & Lowry, 2000), למרות שהיא לעתים גם מעלה את הלחות (פוצ'טר וחוב', 2012). בסקלה מרחבית גדולה, האידי והדיות עשויים אף להביא להתעבות ויצירת עננים, על ידי תהליכי קונדנסציה וקונוקציה.
3. **אלבדו**: התכסית הצמחית עשויה לגרום לשינוי באקלים שבסביבתה, בגלל צבעה הכהה שבעל אלבדו<sup>2</sup> נמוך. ברמה המקומית, הקרינה הנקלטת על-ידי רכיבי התכסית הצמחית מומרת לחום המעלה את טמפרטורת הסביבה הסמוכה לצמח (West et al., 2011) ואילו ברמה האזורית, האלבדו יכול להשפיע גם על המשקעים. למשל, שינויים באלבדו שנגרמו על ידי הפיכת שטחים טבעיים לחקלאיים בצפון הנגב גורמים לעלייה במשקעים ובזרימות חום (Ben-Gai et al., 1998).

<sup>1</sup> דיות- התאדות מים דרך פיוניות עלי הצמחים, כאשר הן נפערות לקליטת פחמן דו-חמצני אטמוספרי הנצרך בתהליך הפוטוסינתזה.  
<sup>2</sup> אלבדו- היחס בין שטף הקרינה הסולרית המוחזרת ממשטח מסוים לבין סך הקרינה המגיעה מהשמש לאותו משטח (Gates, 1980). מונח זה מבטא את יכולת החזרת קרינת השמש מהמשטח, כגון עלה או קרקע, לאטמוספירה. באזורים צחיחים וצחיחים למחצה, לעיתים קרובות קרקע מכוסה בצמחייה מעוצה הינה בעלת אלבדו נמוך יותר מאשר קרקע חשופה ולכן תחזיר פחות קרינה לאטמוספירה, ובעקבות כך תבלע יותר מקרינת השמש ותביא להתחממות.



4. **הגברת רמת החספוס של פני השטח**, המשפיעה על תנועת האוויר וממתנת את עוצמת הרוח. למשל, במערכת המדברית, גזע העץ וחופתו בולמים את רוחות החורף הקרות וכך מקלים על תחושת עומס הקור של האדם שבסביבת העצים. בדומה לכך, סביב שטחים חקלאיים ברחבי הארץ נהוג לשתול אשלים או ברושים, המהווים מחסומי רוח (windbreak) ואבק (Kotzen, 2003).

### 2.1.3 רכיבי המגוון הביולוגי המעורבים באספקת השירות

הביומסה הצמחית, ובעיקר צומח מעוצה, שבמערכות האקולוגיות השונות בישראל, מווסתת את האקלים שבסביבתה. ככל שהצומח מפותח ובוגר והשטח הירוק גדול, כך הוא ממתן את עומס החום בצורה משמעותית יותר (פוצ'טר וחוב', 2009; פוצ'טר וחוב', 2012). עוצמת הקירור מושפעת גם מתכונות הצמחייה, ובעיקר מסוג הצמחייה, צפיפות העלווה, צפיפות הנטיעה וצורת עיצוב הנוף הירוק (פוצ'טר וחוב', 2009; 2002; Potchter et al.). **במערכת העירונית** עוצמת הקירור מושפעת גם מגורמי הבינוי במרחב (למשל, רחוב צר לעומת רחב) ומאינטראקציה ביניהם לבין תכונות הצמחייה (Shashua-Bar et al., 2006).

שירות ויסות האקלים המקומי מוגבר ככל שהמערכת האקולוגיות מורכבות מיותר מעצים, מאחר והעצים יוצרים גם הצללה וקירור וגם ממתנים את עוצמות הרוח עבור האדם (בניגוד לגידולי שדה או שיחים למשל). השירות מוגבר במיוחד במערכת אקולוגית עם עצים ירוקי עד, בגלל שמכילים ביומסה צמחית יותר גדולה לאורך מספר רב יותר של חודשים בשנה, בהשוואה לעצים נשירים. למשל, **במערכות האקולוגיות החקלאיות**, אידי מוקרקע ומהעלווה נעשה בעיקר על ידי הצמחייה הטבעית אך גם על ידי הצמחייה במטעים וגידולי שדה. ויסות האקלים מוגבר יותר במטעים ירוקי-עד, בגלל כמות ביומסה גדולה יותר, משך צימוח ארוך יותר, יצירת הצללה ומיתון עוצמת הרוח, בהשוואה למטעים נשירים ולגידולי שדה (שאלתיאל, מידע שבע"פ).

**במערכות מקווי המים הפנים-ארציים**, עיקר השירות מסופק על ידי מיני צומח של "יער" הגדות (Riparian forest) המקיימים רצועת צומח צרה יחסית המוגבלת לקרבת האפיק, בהתאם למפל הלחות (הנחלש ככל שמתרחקים מהאפיק). צומח גדות כולל עצים כמיני ערבה, דולב, צפצפת הפרת, אשל היאור, מיש ומילה, שעלוותם העשירה מספקת הצללה וממדים גבוהים של דיות. השירות מסופק גם על ידי מיני צמחים נוספים המעבים את יער הגדות, כמו הרדוף הנחלים ומינים עשבוניים-שיחניים: שנית גדולה, שיח אברהם מצוי, קנה מצוי, עב-קנה שכיח, עב-קנה נדיר, פטל וסוף מצוי. עיקר השירות מסופק במערכות הנחלים, אך מתקיים במידה מסוימת גם בגדות הכנרת, החולה ובריכות החורף.

**במערכות החבל הים תיכוני**, מעורבים בהפקת שרות וייסות האקלים המקומי כל מיני העצים הגבוהים שבמערכות היערות הנטועים והחורשים, כמו למשל אורנים, אלונים וחרובים, ובעיקר עצים בעלי גזע יחיד ו/או צמרות סבוכות שעליהם רחבים. בדומה, גם **במערכות האקולוגיות המדבריות**, הצומח העצי הטבעי המספק את השרות כולל אורנים ואיקליפטוסים (ביערות נטועים), עצי אשל ושיטה (מחוץ לשטחים המיוערים) ועצי אלה אטלנטית גדולים (בעיקר בערוצי נחלים). במערכות המדבריות קיימים גם כ-420 לימנים<sup>3</sup>, בהם ניטעו מגוון רחב של מיני עצים, כאשר העיקריים שבהם הם מיני אקליפטוס ואשל הפרקים (ברנשטיין, 2010). ויסות האקלים המקומי מסופק גם על ידי למעלה מ-100 עצי-פרי

<sup>3</sup> לימן- מערכת אקולוגית שנבנתה ומנוהלת בידי אדם שנועדה להגביר אספקת שרות וייסות האקלים המקומי. רוב הלימנים ממוקמים בקרבת דרכים ראשיות.

שניטעו בבוסתנים על ידי אנשי המגזר הבדואי, וכוללים עצי זית, תמר, רימון, תאנה, שקד, חרוב, אלת בוטנה וחושחש. במערכות האקולוגיות של ערים ויישובים, מגוון הצומח המעוצה ברחובות, בשדרות, בגנים ובפארקים עירוניים מוסת את האקלים שבסביבתו. עם זאת, אזורים עירוניים עם צמחייה עשויים להיות חמים יותר מאשר הסביבה הבנויה ועלולים ליצור תנאים מיקרו-אקלימיים לא נוחים (Potchter et al, 2002). למשל, פארק עם דשא יכול להיות חם ב-1-2 מ"צ מאשר שטח בנוי במהלך היום (Potchter et al, 2002), בשל חוסר בהצללה בהשוואה לפארק עם עצים גבוהים (פוצ'טר וחוב', 2009; פוצ'טר וחוב', 2012). גם פארק עם עצים נמוכים עלול ליצור אקלים פחות נוח מאשר שטח בנוי במהלך הלילה, בשל הפחתה של מהירות הרוח ועלייה בלחות היחסית. השילוב של טמפרטורות גבוהות ולחות גבוהה מאשר הסביבה הבנויה, יוצר השפעה שלילית על נוחות האדם (Potchter et al, 2002).

## 2.2 מצב נוכחי

### 2.2.1 תועלות, תרומתן לרווחת האדם ומשתמשים

"נוחות תרמית היא מצב נפשי אשר בו מורגשת שביעות רצון מהסביבה התרמית" (ISO.7730:2005). מן ההגדרה משתמע שנוחות תרמית היא עניין סובייקטיבי, ואכן אנשים שונים עשויים להביע דעות מגוונות באשר למידת הנוחות שהם חשים בסביבה נתונה. עם זאת, מחקרים רבים שנעשו בכל רחבי העולם במשך השנים מראים שמבחינה סטטיסטית, רוב האנשים חשים בנוח בתנאים דומים, וכי ניתן לאפיין סביבה אשר מרבית בני האדם יחוו בה בנוח (שילר, 2013). תחושת הנוחות האקלימית הפיזית והנפשית של האדם מושפעת מערכי טמפרטורת האוויר, מידת החשיפה לקרינה ישירה, הלחות היחסית ועוצמת הרוח, ומוגדרת כ-19-23 מ"צ (כאשר תחושה של עומס חום מוגדרת מ-24 מ"צ והלאה ותחושה של עומס קור מוגדרת מ-18 מ"צ ומטה) (כהן וחוב', 2007). לפי השרות המטאורולוגי, כימות עומס החום מבוסס על מוצע חשבונאי של ערכי הטמפרטורה של האוויר ("טמפרטורה יבשה") וערך המיחוס ללחות היחסית ("טמפרטורה לחה"). תחום הנוחות לפי שיטה זו מושג כאשר מדד עומס החום אינו עולה על 22 מ"צ.

מיני הצמחים, בעיקר עצים בעלי עלווה צפופה (שילר, 2013), גורמים להפחתה בדרגת עומס החום עד כדי 2 דרגות ויותר (מתוך 6 דרגות, עפ"י השרות המטאורולוגי) (Saaroni, Ben-Dor, & Bitan, 1999; Saaroni, Lin, 2009; Ziv, & Alpert, 2003) ומאפשרים תחושה ואווירה נעימה יותר והפוגה מעומס החום וקרינת השמש עבור האדם (למשל (Becker, Cohen, Ianetz, & Stanhill, 2002; Potchter, & Yaakov, 2003). ניתוח נתוני אקלים במודלים של נוחות תרמית מראה שההשפעה העיקרית של הצומח על האדם הוא הצללה ומכאן החשיבות הרבה של גודל הנוף המצל (Kotzen, 2003). השיפור בנוחות תרמית המבוטא כ"טמפרטורה פיסיולוגית שקולה" יכול להסתכם בירידה של יותר מ-20 מעלות צלזיוס, שמשנה את האקלים מ"בלתי נסבל" ל"חם אבל נעים". ההפחתה בדרגת עומס החום גם מייתרת את הצורך בהפעלת אמצעי קירור או מורידה את עוצמתם ובכך תורמת לצריכת אנרגיה נמוכה יותר.

היצע השרות זמין לכל אדם הנמצא מחוץ למבנה או כלי-רכב ובמרחק סביר מצומח עצי שברחבי המערכות האקולוגיות, אף כי אין נתונים כמותיים על מספר האנשים המשתמשים בתועלת זו של שרות ויסות האקלים המקומי. לפיכך הנהנים מהשרות הם כלל הציבור הנוכח בשטחים הפתוחים שבמרחב העירוני, המבקרים והנופשים במקווי המים, ביערות הנוטעים ובחורשים ובסמיכות להם. תועלת זו עשויה לעודד אנשים לפעילויות תיירות, נופש בחיק הטבע, פנאי וספורט.

לשרות ויסות האקלים המקומי יש גם תועלת עקיפה לאדם, וזאת באמצעות יצירה של מעין אתרי-מקלט, התומכים ברכיבים שונים של המגוון הביולוגי. לדוגמה, מיני צמחים ובעלי-חיים שחוסים בצלו של העץ ונהנים מתנאי האקלים המשופרים תחתיו (תופעה שבולטת בעיקר במהלך בצורות, Holmgren et al., 2011), ובקיומם מקדמים את אספקת השירותים שבהפקתם מעורבים. למשל, שרות ויסות האקלים המקומי במערכות מקווי המים מווסת גם את טמפרטורת המים, ובכך תומך גם ברכיבי המגוון הביולוגי של גוף המים, המעורבים באספקת שירותים אחרים, כמו ויסות איכות המים ואספקת משאבים גנטיים ורפואיים.

## 2.2.2 השיטות והאינדיקטורים/מדדים לכימות אספקת השרות/התועלות וכימות אספקתם הנוכחית

ממדי הפקת שרות ויסות האקלים המקומי במערכות האקולוגיות בישראל ניתנים לכימות בשתי גישות עיקריות:

1. חישוב מהלך יומי ועונתי של ערך פיזיקאלי המכונה "אינדקס עקת החום" ו"אינדקס הנוחות התרמית", שעשויים להשפיע על האדם במקום נתון, וכן על ידי השוואה בין אזורים במערכת שגדל בהם צומח שונה.

במחקרים נעשה שימוש באינדקס עקת החום (S) כדי לבטא את תגובת גוף האדם לתנאי הסביבה. אינדקס זה הוא מדד ביו-פיסיקלי המתאר את חילופי החום בין גוף האדם והסביבה בהקשר לפעילותו הפיסית, התנאים המיקרו-אקלימיים והלבוש. הנחת היסוד במודל זה היא שהזיעה המופרשת על ידי גוף האדם בתנאים מיקרו-אקלימיים נתונים מאפשרת בהתאדות את קירור הגוף, על מנת לאזן את התחממותו כתוצאה מייצור חום מטבולי וחילופי החום עם הסביבה.

$$S = [(M - W) \pm C \pm R] 1/f$$

נוסחת אינדקס עקת החום:

כאשר :

S = כמות הזיעה הנדרשת לשם שמירה על טמפרטורה קבועה של גוף האדם בתנאים מיקרו-אקלימיים נתונים (קילו-קלוריות לשעה).

M = יצור חום מטבולי (קילו-קלוריות לשעה).

W = חום מטבולי שהפך לאנרגיה מכאנית (תנועת גוף האדם) (קילו-קלוריות לשעה).

C = חילופי חום בקונוקציה (קילו-קלוריות לשעה).

R = חילופי חום על ידי קרינה (קילו-קלוריות לשעה).

f = יעילות הקירור על ידי התאדות הזעה (חסר יחידות).

מחקרים עושים שימוש גם באינדקס הנוחות התרמית (T.S.), שהוא מודל ביו-פיסיקלי הקושר בין אינדקס עקת החום (S) להרגשת החום הסובייקטיבית של אדם בתנאים מיקרו-אקלימיים נתונים.

$$T.S. = a + b(Sp + So)c$$

נוסחת אינדקס הנוחות התרמית:

כאשר :

S = Sp = כמות הזעה (גרם לשעה).

So = (M-100) (גרם לשעה).

a, b, c = קבועים אמפיריים התלויים בפעילות האדם שנלקחו מטבלה (שילר, 2013).

אינדקס הנוחות התרמית מאפשר לחשב פליטה של קילו-קלוריות על ידי אדם בהליכה בהשוואה לאדם במנוחה, וכשהוא באזורים עם צומח שונה. לדוגמה, במחקרו של שילר (2013) נערכה השוואה בין פליטת קילו-קלוריות על ידי אדם בהליכה לבין הפליטה בעת מנוחה, וביער נטוע בהשוואה לשהייתו בחורש. נמצא כי שקלול עקת החום היומית הממוצעת בתנאי מנוחה עמד על כ- 15 קילו-קלוריות לשעה ביער נטוע, לעומת 223 קילו-קלוריות לשעה בחורש, והשקלול בזמן פעילות פיזית מתונה (כמו למשל הליכה) העלה ערך של 282 קק"ל ביער נטוע לעומת 545 קילו-קלוריות לשעה בחורש (שילר, 1974). היינו, הפקת השרות על ידי היער הנטוע המתבטאת במאמץ האנרגטי הנדרש להשגת נוחות תרמית כאשר המשתמש במנוחה במערכת היער הנטוע, גבוהה פי 15 מזו של נופש בחורש, ורק פי שניים כאשר המבקר מטייל בהליכה מתונה. מכל אלה ניתן לסכם שהנוחות התרמית של הנופש במצב מנוחה או פעילות בימי הקיץ היא אידיאלית ביער הנטוע בהשוואה לחורש. בחורף, לעומת זאת, תנאי האקלים המקומיים יהיו הנוחים ביותר בשטחי החורש הצפוף בהם אין רוח, יותר מאשר בשטחי היערות הנטועים.

**2. ממדי הפקת שרות ויסות האקלים המקומי ניתנים לביטוי גם במדדים השגורים בציבור, כמו טמפרטורה בעקבות ההצללה, צמצום הקרינה ומהירות הרוח, שהם משתנים אקלימיים היוצרים הקלה במצבים של עומס חום בחודשי הקיץ.**

ערכים של משתנים אלה נמדדו במערכות החבל הים-תיכוני בהשוואה לערכיהם מחוץ למערכות, וגם במערכות היערות הנטועים בהשוואה למערכות החורשים:

ממדי הפקת שרות הויסות של האקלים המקומי המבוטאת **בערכי הטמפרטורה**, בין אם ההפקה היא באמצעות עץ בודד או על ידי המערכת כולה, נקבעים באמצעות מדידת טמפרטורת "גוף שחור". המדידה נעשית לרוב באמצעות תרמומטר ייעודי, ולא באמצעות מדידת טמפרטורת האוויר במד-חום מקובל. זאת משום שטמפרטורת גוף שחור דומה יותר להשפעה על טמפרטורת גוף האדם מאשר טמפרטורת האוויר. מדידה כזו, שנערכה עבור עץ חרוב בפארק השרון שבמערכת החולות והכורכרים, העלתה כי ההפרש בין טמפרטורת גוף שחור בצל לבין הטמפרטורה בשטח החשוף שבסמיכות למערכת ביום קיץ, עומדת על כ- 8.3 מ"צ (שילר, 2013). טמפרטורת גוף שחור ממוצעת שנמדדה בכרמל בימי הקיץ נמצאה נמוכה ביער נטוע ב- 6.9-7.9 מ"צ מאלו שבחורש צפוף.

ממדי הפקת שרות הויסות של האקלים המקומי המבוטאת **בערכי מהירות הרוח הממוצעת**, נמצאה גבוהה יותר ביער הנטוע בהר הכרמל בכ- 0.3-1 מטר לשנייה, שהיא כ- 120%-150 ממהירות הרוח בחורש (Schiller, 1974). לעומת זאת, באזור בית ג'מאל, מהירות הרוח נמצאה גבוהה יותר בחורש מאשר ביער ב- 0.7-1.3 מטר לשנייה (Schiller & Karschon, 1973). הממצאים המנוגדים הללו מלמדים כי ההשוואה בין יער לחורש בממדי הרוח מורכבת ועשויה להיות מושפעת מגיל העצים, צפיפותם, וממיקומן הטופוגרפי והגיאומורפולוגי של המערכות, ולא רק מהבדלים שבין מיני העצים השולטים בשתי מערכות הצומח העצי (אורנים ביערות הנטועים ואלונים ואילנות בחורשים).

בנוסף, למהירות הרוח עשויות להיות השפעות מנוגדות על לחות האוויר במערכת ולכן גם על תחושת החום. מהירות תנועת האוויר במערכת מאפשרת אידוי רב בתנאי רוח חזקה, והיות וההתאדות צורכת חום רב (540 קלוריות לגרם) מהווה הרוח גורם נוסף המצטרף להקלה בעומס/עקת החום. אולם רכיב הלחות היחסית באוויר שמקורו בדיות (פליטת

מים והתאדותם מפני עלוות העצים) עשוי להשפיע על הנוחות התרמית דווקא בהעלותו את תחושת החום. אלא שתנועות האוויר במערכת עשויות גם למתן את לחות האוויר, בנסיבות התלויות בשוני המרחבי במבנה היער/חורש, ובמערכת האקלים שבאזור בו ממוקמת המערכת האקולוגית (שילר, 2013).

**ממדי הפקת השרות באמצעות השוואות טמפרטורות ומהירויות רוח** בין שטחי מערכות החורשים והבתות ברמות כיסוי צומח שונות (0%-100 כיסוי) נמדדו בקרן הכרמל. נמצא כי בין חלקות השטח הפתוח (בתה/שטח חשוף מצומח) לבין השטח המוצל על ידי האלונים בחודשי הקיץ, ישנה הקלה של 3-5 מ"צ בטמפרטורת האוויר, וקרוב ל-10 מ"צ בטמפ' גוף שחור. היינו, ממדים משמעותיים של הפקת השרות המתבטאים בטמפרטורה. לעומת זאת, מהירות הרוח נמצאה נמוכה יותר בשטח החורש הצפוף (100% כיסוי) וכך היא מגדילה את אי-הנוחות התרמית בחודשי הקיץ. העקה הנמוכה ביותר תורגש באזור עם כיסוי חורש של כ-80% (ולכן מהירות רוח גבוהה יותר מאשר בחורש של 100% כיסוי עצי). בחודשי החורף, לעומת זאת, הנוחות המרבית תורגש בחורש שכיסויו גבוה, כאשר תנועת הרוח בו נבלמת בעוצמה רבה (ויינשטיין ושילר, 1981).

### 2.2.3 תיאור מרחבי של אספקת השרות (מיפוי) והשוואה בין מערכות בממדי האספקה של השרות

**ממדי הביקוש השרות:** ממדי הביקוש לשרות ויסות האקלים המקומי לא נבדקו במערכות האקולוגיות בישראל. עם זאת, רוב הביקוש הוא למיתון עומס החום ועשוי להיות בעלת תועלת רבה במיוחד בערים שבאזורים מדבריים, בשל השפעת האקלים החם והצחיח (פוצ'טר וחוב', 2012; Saaroni and Ziv, 2010), בהן עומס החום גובר עקב ההשפעה המשולבת של הטמפרטורות הגבוהות ותופעת 'אי החום העירוני' (ראה קופסה בפרק שירותי מערכות אקולוגיות של ערים ויישובים) (פוצ'טר וחוב', 2009; פוצ'טר וחוב', 2012; Potchter et al., 2002). כמו כן, סביר כי ממדי הביקוש לשרות גדולים בפארקים בערים, בשמורות טבע ובגנים לאומיים, ביערות וחורשים וגם במעיינות ולאורך נחלים. אתרים אלה מושכים קהל רב מכל מגזרי החברה, ושרות ויסות האקלים המקומי אמור למתן את אי-הנוחות האקלימית של המבקרים, בעיקר בקיץ. אם זאת, טמפרטורות החורף במערכות המדבריות יוצרות גם ביקוש לוויסות עומס הקור.

**ממדי אספקת השרות:** בכל המערכות האקולוגיות בישראל אספקת שירות ויסות האקלים המקומי גדולה יותר בשעות היום ובעונת הקיץ. קיים מידע מועט אודות ממדי הפקת השרות במערכות האקולוגיות בישראל, למעט מחקרים רבים שנערכו במערכות האקולוגיות העירוניות, המראים שעצי רחוב ופארקים עירוניים מפחיתים את הטמפרטורה בין 2 מ"צ ל-4 מ"צ, בהשוואה לרחוב חשוף מצמחיה או שטחים עירוניים פתוחים (למשל כיכר מרוצפת) (פוצ'טר ושעשוע, 2009; פוצ'טר וחוב', 2009). הפחתת עומס החום תחת עצים גבוהים בעלי חופה רחבה היא המשמעותית ביותר (בהשוואה לעצים נמוכים ודשא), ושקולה ל-10-18 מ"צ, דהיינו הפחתה של שתי דרגות בסולם עומס החום, מ'חם מאוד' ל'ניטרלי' (פוצ'טר וחוב', 2012). בנוסף, נמצא שניתן לחוש בהשפעה המקררת של שדרות וגנים קטנים בעיר עד כ-100 מטר משוליהם (Shashua-Bar and Hoffman, 2000), כתלות בגודל השטח הירוק והמרחקים שבין השטחים הירוקים (Honjo and Takakura, 1990 אצל Shashua-Bar and Hoffman, 2000). עם זאת, אזורים עירוניים עם צמחייה שאינה מצלה (למשל, פארק עם דשא) עשויים להיות חמים יותר מאשר הסביבה הבנויה ועלולים ליצור תנאים מיקרו-אקלימיים לא נוחים (פוצ'טר וחוב', 2009; פוצ'טר וחוב', 2012; Potchter et al, 2002).

**במערכות החבל הים תיכוני**, לא נעשה כימות ממדי הפקת השרות, למעט ממצא של ביטוי אינדקס הנוחות התרמית המקובל בספרות המקצועית (ראה פירוט בסעיף 2.2.2). גם **במערכות החקלאיות** חסר מידע על ממדי אספקת השירות. בדומה, גם **במערכות מקווי המים בישראל** לא נבדקו ממדי אספקת שירות וויסות האקלים המקומי, אך ניתן להקיש על ממדי השרות של מערכת הנחלים, ממחקרים שנעשו בישראל על וויסות האקלים המקומי על ידי פארקים עירוניים כחלק מיער גדול הנחלים. לדוגמא, כהן, פוצ'טר וביתן (2007) מצאו כי ביער רידינג הסמוך לפארק הירקון (אם כי לא ממש על גדות הירקון) ובו עצים בגובה 6-10 מ', טמפרטורת צהרי היום בקיץ 2002 הייתה נמוכה במוצע ב-2.3 מ"צ מזו של השטח הבנוי הסמוך. בנוסף, נמצא כי בצהרי היום הייתה טמפרטורת הקרינה הממוצעת (Mean Radiant Temperature, קרינת השמש החודרת מבעד לצמרות העצים ולכן מבטאת את יעילות ההצללה ואת השפעתה על הנוחות התרמית של האדם) נמוכה בפארק מזו של הסביבה המבונה ב-20 מ"צ (46-47 מ"צ בשטח הבנוי מול 25-27 מ"צ בפארק) (כהן פוצ'טר וביתן, 2007). **במערכות האקולוגיות המדבריות**, המידע הכמותי על ויסות האקלים המקומי ע"י עצים מועט, אך מספק סדרי גודל לממדי הפקת השרות. רוב המחקרים בחנו את טמפרטורת האוויר והקרקה תחת עצים בודדים בהשוואה לטמפרטורה בשטח פתוח חשוף מעצים, והראו שבצהריים, הראשונה נמוכה ב-0.7-15 מ"צ (מושליון, 2008; Potchter et al., 2008; Kotzen, 2003). לעומת עצים בודדים, ממוצע טמפרטורת ה"עור" (שילוב של טמפרטורת הקרקע והעלים) השנתית ביער באזור המעבר הייתה נמוכה ב-5 מ"צ ממוצע טמפרטורת הבתה הסמוך ליער, על אף שהעצים תורמים לעלייה של עד 10% בלחות היחסית של האוויר, המגבירה את עומס החום (Rotenberg & Yakir, 2010). עוד נמצא שהעצים ביער מפחיתים את האלכדו של הקרקע בכ-90%, ובכך מעלים את החום המוחשי סמוך לפני-הקרקע, אך אין מידע לגבי השפעה זו של ההתחממות על ההשפעה המקררת של ההצללה והדיות (Rotenberg & Yakir, 2010).

## 2.3 גורמים מחוללי שינוי ומגמות

במהלך השנים ירדה אספקת שירות ויסות האקלים המקומי בכל המערכות האקולוגיות בישראל, כתוצאה מירידה בכיסוי הצומח המעוצה שנגרמה מסיבות שונות:

**במערכות האקולוגיות החקלאיות**, הגורם המרכזי לפגיעה באספקת שירות ויסות האקלים המקומי הינו שינויים ביעודי קרקעות - ההתמרה של שטחים טבעיים (או חצי טבעיים) לשטחים תחת חקלאות אינטנסיבית. ההשפעה הגדולה ביותר היא במעבר למטעים ירוקי עד, לאחר מכן נשירים, גד"ש שלחין, וגד"ש בעל. השטחים החקלאיים בנגב גדלים על חשבון השטחים הטבעיים, עקב מספר גורמים מחוללי שינוי עקיפים כגון: (1) תהליך עיור מוגבר במרכז הארץ, והעברת שטחים חקלאיים לדרום (הדרים מהשרון, גידולי שדה ואחרים), (2) תוספת של מים מושבים המועברים לנגב דרך מערכת השפד"ן, ו-(3) שיקולים פוליטיים, כגון פינוי חבל ימית בסיני בתחילת שנות ה-80 ויישוב חלק מהתושבים בחלק הדרומי של צפון מערב הנגב וכן פינוי גוש קטיף ב-2005 (יישובי חלוציות). (4) גורם שינוי נוסף אשר מגביר את השירות הוא המגמה של הפיכת שטחי גד"ש פתוחים למטעים המגבירים את ויסות החום בשטח החקלאי, ולחממות אשר יוצרת אקלים חם במכוון.

**במערכות האקולוגיות של החבל הים-תיכוני** ניתן להעריך שתהליך חדירת עצי אורן ירושלים שמקורם במערכות היערות הנטועים אל מערכות החורשים והבתות תורם להפקת השרות בשטחים נרחבים יותר מאלה בהם הופק השרות

בעבר. לעומת זאת, פעילות ממשק היערות הנטועים הכוללת דילול הצפיפות האורנים, מביאה לירידה בשיעור הכיסוי הצמחי וכך לצמצום הדרגתי בממדי הפקת השרות (אוסם, 2013).

**במערכות האקולוגיות המדבריות** נגרמו שינויים בהיצע השירות בעיקר כתוצאה משינוי אקלימי (תדירות בצורות) ומכריתה (לעצי בעירה ולגדרות). גורמים להגדלת ההיצע הם: הפסקת הכריתה ופעילות הייעור, שממדיהם מושפעים מגורמים עקיפים, כגון שינויים במדיניות הייעור של הקק"ל, שינויים חברתיים, תרבותיים וככלכליים המתייחסים למגזר הבדואי. שינויים בביקוש תלויים בעיקר בגורמים עקיפים: גורמים מדיניים בהקשר למגזר הבדואי, מדיניות הייעור של קק"ל, ומדיניות אכלוס הנגב במתיישבים ובשימושי צה"ל.

**במערכות האקולוגיות העירוניות**, השינויים ביעודי הקרקעות גורמים לעתים קרובות לדחיסת קרקע כתוצאה משימוש אינטנסיבי ולשינויים ברמת האטימה של הקרקע כתוצאה מכיסויה בחומרים (כאספלט ומלט) ובאוגר החום של פני השטח. אלו גורמים לשינויים במחזור ההידרולוגי, בטמפרטורות ובהפרשי טמפרטורה בין יום ולילה. לדוגמה, במקרה של אי החום העירוני שבו אוגר החום של העיר גבוה והאלבדו<sup>2</sup> נמוך, הטמפרטורות גבוהות יותר וההבדלים בין יום ללילה מצטמצמים. שינוי נלווה לתהליך העיור והיווצרות אי חום עירוני הוא ההקטנה במספר העצים וכיסוי צמחי. מחקר שבחן את ההשפעה של עצים ונוף על אקלים עירוני בבאר שבע מצא שברחובות עם עצים טמפרטורת האוויר ביום נמוכה בכ- 3 מ"צ מאשר ברחובות דומים בלי עצים. בנוסף נמצא שפארקים עירוניים מורידים את הטמפרטורה בקיץ ב-2 עד 5 מ"צ (פוצ'טר וחוב', 2012). יש אם כך משמעות רבה לשימור עצים וחורשות טבעיים בתוך הפסיפס העירוני ומסביבו.

**במערכות האקולוגיות של מקווי מים פנים ארציים**, צומח הגדות נפגע כתוצאה מ: (1) ניצול יתר של מים, שגרם לירידה משמעותית בספיקתם של מעיינות ונחלים, ירידת מפלס והקטנת שטחי גופי המים; (2) שינויים בשימושי הקרקע הגורמים לפגיעה במשטר המים (Cable Rains et al., 2006), באיכות המים ובבתי הגידול היבשתיים (Newcomb et al., 2005; Homan et al., 2004; Brooks, 2005); (3) זיהום המים פוגע בתפוצת מיני צומח; (4) מינים פולשים הדוחקים ומכחידיים מינים מקומיים (Houlahan and Findlay, 2004; Hager, 2004), וכתוצאה מכך נפגעים השירותים שמספקים המינים המקומיים או המערכת האקולוגית כולה; (5) שינויי האקלים הגלובליים עשויים לגרום לשינויים מאפייני האקלים המקומי. המגמה העתידית באזור ישראל צופה ירידה בכמות המשקעים אך הגברת עוצמת אירועי הגשם (Ziv et al., 2014). תופעה זו צפויה להקטין את המילוי החוזר של האקוויפרים (Samuels et al., 2009), ולהגביר את התחרות על משאבי המים. כפועל יוצא, צפויה הגברת של תפיסת מי הנגר העילי, תופעה שתגרום להפחתה בכמויות מי הנגר המגיעים למקווי המים ומאפשרים את קיום הצומח. כלומר, ההתחממות הגלובלית עשויה להגדיל משמעותית את הביקוש לשירות הוויסות, אך להקטין את היצע השרות.

## 2.4 פערי ידע

- חסר מידע בארץ על ממדי אספקת שירות ויסות האקלים המקומי במערכת האקולוגית הימית, במערכת החבל הים-תיכוני, במערכת המדברית ובמערכת החקלאית. כמו כן לא ידוע מהי השפעת הצומח שבכל מערכת על האקלים המקומי שמעבר לגבולות המערכת.
- לא קיימים מחקרים בארץ העוסקים בהשפעת החקלאות על האקלים המקומי.

### 3. ויסות אירועי קיצון

#### 3.1 ויסות שיטפונות והצפות

##### 3.1.1 כללי

###### 3.1.1.1 תיאור השירות והתועלות הנובעות ממנו

שיטפון הוא שטף מים חזק הנוצר בנחלים, מתקדם במהירות לעבר אזור השפך שלהם ויכול להביא להצפות באזורים יבשים בדרך כלל. אירוע שיטפון באגן הניקוז מתרחש משילוב של גורמים אקלימיים, כגון: פירוס מרחבי ועיתי של משקעים ועוצמתם (מסופות גשם עוצמתיות, המסת שלגים וכו'), ותכונות אגן ההיקוות, כגון: גודל השטח התורם, צפיפות רשת הניקוז, כסות ושימושי קרקע, טופוגרפיה, יחסי קרקע-סלע-צומח ועוד. שיטפונות בזק (Flash floods) הם שיטפונות שנוצרים כתגובה ישירה לסופת גשם עזה ומתרחשים לכל היותר מספר שעות אחריה. שיטפונות בזק נוצרים כאשר קצב הגעת הגשם לקרקע גדול בהרבה מהקצב בה הקרקע מסוגלת לקלוט את המים ולאפשר חלחולם כלפי מטה והגנר העילי הנוצר זורם באגן ההיקוות דרך מערכת הערוצים למורד הנחל בקצבים גדולים מיכולת ההעברה של המערכת. השיטפונות המתועדים בישראל, רובם ככולם הם שיטפונות בזק.

סופות גשם עוצמתיות הגורמות לשיטפונות בזק מתרחשות באופן טבעי, אולם מידת השפעתן על האדם והמערכת האקולוגית תלויה במצבה של המערכת ובפעילות האדם בה. לטופוגרפיה, לתכסית, לסוג הקרקע ולמסלע ישנה השפעה גדולה על קצבי חידור ומכך על יצירת שיטפונות. באופן כללי, קרקעות חרסיתיות, שטחים בנויים, שיפועים גבוהים, ושטחים עם צפיפות נמוכה של צמחיה הם בעלי קצבי חידור נמוכים, אולם ישנם גורמים נוספים היכולים להשפיע על קצבי החידור כמו רמת הסידוק, תכולת המים בקרקע, חומר אורגני ואחרים. בנוסף, צורת העיבוד (ופעולות שימור קרקע) באזורים חקלאיים וצורת הבניה באזורים עירוניים משפיעים על יצירת וזרימת הנגר העילי (גרת' וחוב', 1993; שמיר וקרמון, 2007). גם לתכונות הנחל (פרמטרים גאומטריים, שיפועים, תשתית, צמחיה באפיק ובגדותיו) השפעה על עצמת השיטפון ולפעילות הסדרת נחלים יש השפעה על משטר השיטפונות (רוזנצביג, 2008).

אירועי קיצון אלו עלולים לגרום נזק לאדם, לתשתיות ולרכוש. כמו כן, שיטפונות בפרט עלולים להביא לסחף קרקע ניכר ולזיהומים, אך הם גם מביאים להעשרת מי תהום ויש להם חשיבות בקיום תהליכים גיאומורפולוגיים ואקולוגיים טבעיים.

###### 3.1.1.2 המגוון הביולוגי המעורב באספקת השירות

ויסות השיטפונות וההצפות על בסיס המורפולוגיה של הנחל מתקיים תמיד בנחלים טבעיים מדבריים. באזורים צחיחים למחצה ובאזורים ים-תיכוניים גם לצמחיית אפיקי נחלים יש תפקיד בוויסות וריסון שיטפונות. צמחיית אפיקי נחלים כוללת את כל מיני הצומח הגדלים בסמיכות או בתוך אפיק הנחל, בין אם הוא נחל איתן או אכזב (צומח בקרקעית התעלה, על גבי שרטונות, בגדות האפיק, ובשולי פשטי ההצפה של הנחל), וכן צמחייה מתה, כגון גזעי עצים וענפים הנוטים להצטבר במקומות מסוימים באפיק הנחל כמו בעיקול של נפתול או בבריכות (Bennett & Simon, 2004). בין מיני הצומח האופייניים לנחלי ישראל ניתן למצוא צמחייה טבולה וצפה דוגמת גומא ונופר צהוב בנחל הירקון; צמחייה עשבונית דוגמת חישות קנה בנחל גרר; צמחייה מעוצה נטועה דוגמת מיני אקליפטוס וערבה מחודדת בנחל הירקון, וצמחייה מעוצה טבעית דוגמת עצי דולב ותאנה בנחל כזיב.



צמחיית אפיק הנחל משפיעה על זרימת המים, הסחף וחומרי הזנה (נוטריינטים) באפיק (Corenbli et al., 2007). השפעת הצומח על זרימת המים מורכבת ומשתנה במרחב ובזמן עם השינויים במפלסי המים בזמן גאות. באופן כללי הצמחייה גורמת לריסון מהירות הזרימה ע"י הגברת מקדם החספוס וההתנגדות (חיכוך) לכוח הזורם ויצירת הפרעות בנתיבי הזרימה (Hickin, 1984). כתוצאה מכך הצמחייה גם משפיעה על לכידה ומיון של סדימנטים ותפוקות הסחף הנמדדות עשויות לקטון משמעותית. יתר על כן, הצומח באפיק מייצב את גדות האפיק וצורות התשתית שבו, בפני תהליכי התמוטטות וסחיפה ולכן משפיע על רוחבה הפעיל של התעלה באפיק הנחל (Hassan & Egozi, 2001; Corenbli & Steiger, 2009).

במערכות המדבריות, הגברת מתונה של נגר עילי נוצרת על ידי קרומי הקרקע הביולוגיים. אלו נוצרים על ידי יצורים זעירים, אצות כחוליות וחזיות המלכדים את חלקיקי הקרקע (בעיקר קרקעות לס). חדירותם למים של קרומים אלה נמוכה, ולכן הם מהווים מקור לנגר עילי (צעדי, 1999). במקומות בהם התשתית הקרקעית המדרונית מקיימת פסיפס של כתמי קרומי קרקע ביולוגיים עם כתמי שיחים מדבריים, הנגר הנוצר על ידי הקרומים נבלע בתלולית הקרקע התחוחה שסביב השיחים ומספק לשיחים מים (צעדי, 1999; שחק, 2011). בממשק נכון ניתן להפנות נגר המופק על ידי מנגנון זה להשקיית עצים על מדרונות, כפי שמודגם במקומות שונים בבקעת באר שבע, או לחלקות חקלאיות, כפי שעשו הביזנטים בהר הנגב (אבן ארי, שגן ותדמור, 1980).

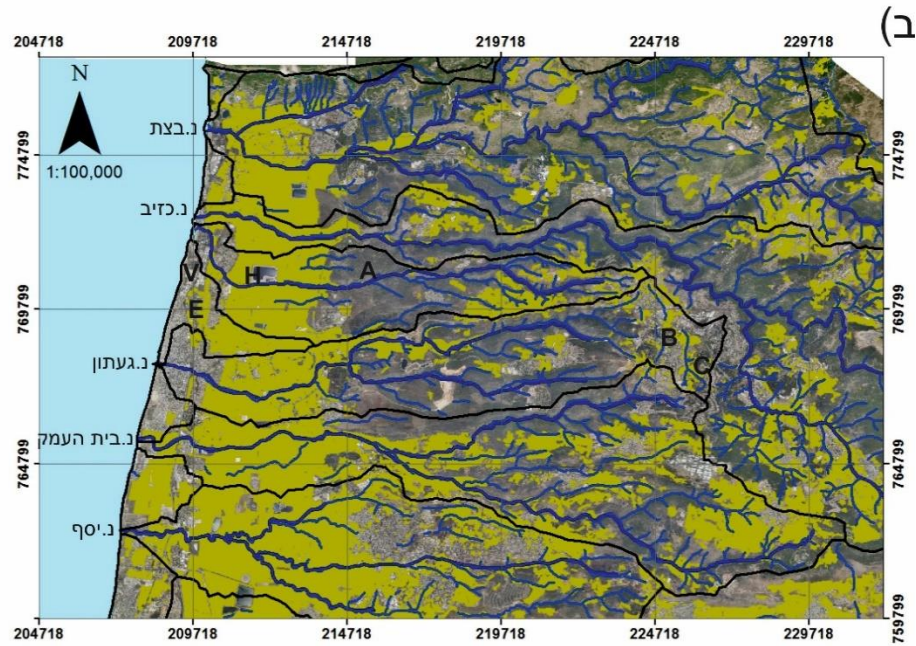
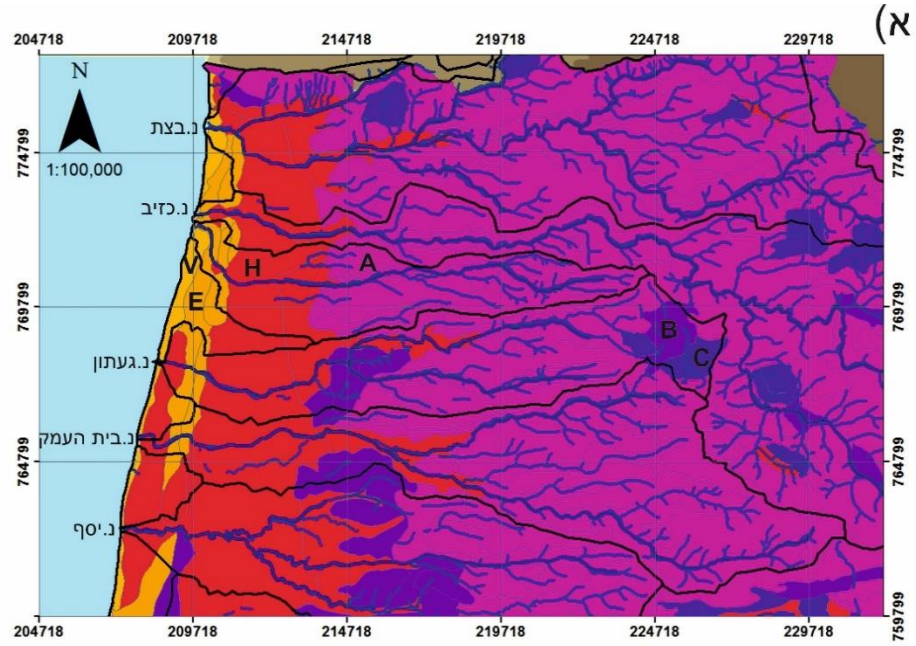
### 3.1.2 מצב נוכחי

#### 3.1.2.1 תיאור מרחבי של אספקת השירות

ויסות שיטפונות והצפות מתרחש באופן טבעי ברשת הניקוז הטבעית, קרי אפיקי הנחלים. המורפולוגיה של הנחל האלוביאלי מעוצבת ע"י משטר הזרימה ומורכבת ממספר נדבכים הבונים את האפיק וגדות הנחל ומוסטים את זרימתו. החל מצורות תשתית קטנות המורכבות ממספר חלוקי נחל המגבירים את יציבות תשתית האפיק ע"י הגברת מקדם החספוס והחיכוך עם הזורם הגורם להאטת מהירותו, ועד לצורות תשתית דוגמת שרטונות יחידה ושרטונות מורכבים וגדולים יותר, בהתאם לחתך רוחב הזרימה, המהווים אוגר לסדימנטים שהושקעו, ואשר מקטינים את השיפוע של האפיק ע"י יצירת נפתולים או/ופיצול הזרימה למספר נתיבי זרימה, למשל, בנחלי פזרות. מעבר לכך בנחלים אלוביאליים רבים, לרוב בחלקם המורדי בו השיפועים מתמתנים נבנים פשטי הצפה שתפקידם לקלוט את נפח המים הגולש אל מעבר לממדי האפיק ולהקטין את מהירות זרימת המים ע"י הגדלת שטח החתך המורטב.

פשטי הצפה - על בסיס מפת חבורת הקרקע של ישראל בקנ"מ 1:250,000 ניתן להבחין באזורים בהם חבורות הקרקע הן מסוג ורטיסוליים (גרומוסול) או קרקעות אלוביאליות המאפיינים את אזור העמקים ופשטי הצפה (מפה א1). ואכן במקרים רבים ניתן לראות שתפוצת הקרקעות תואמת את המורפולוגיה של אגן ההיקוות, למעשה ניתן לאתר את אזור פשטי ההצפה העשויים לרסן את השיטפונות כפי שמודגם עבור אגני הנחלים באזור הגליל העליון. מיפוי של שימושי הקרקע של פשטי ההצפה מעלה כי מרבית השטחים שהיו בעבר פשטי הצפה פעילים הם אזורים בעיבוד חקלאי (מפה 1). אזורים אלה מתוכננים לשמש כפשטי הצפה בגאוויות בעלות הסתברות השגה של 10% על פי הנחיות תכנון הניקוז כפי שבא לידי ביטוי בתמ"א 3/ב/34. מכאן שמרבית גאוויות ספיקת גדות מלאה, שזמן החזרה שלהם להתרחש בכול שנה

ושנה נמוך מזמן חזרה של אחת לעשר שנים, לא יציפו את פשטי ההצפה ויווסתו על ידם ועל ידי מגוון מיני הצומח ותהליכי הסוקסציה המאפיינים את אזור פשטי ההצפה אשר אינם קיימים עוד.



מפה 1: א) מפת חבורות הקרקע באגני ההיקוות בגליל המערבי ורשת הניקוז. חבורות הקרקע העיקריות הן חוליות (V); חמרה (E); גרומוסול וקרקעות אלוביאליות (H); רנדזינה חומה (B); טרה-רוסה (A); רנדזינה בהירה (C). ניתן להבחין במעלה אגני ההיקוות בהם שיפועים תלולים – הקרקעות הן הרריות (A, B, C) ואילו במורד הנחל קרקעות עמקים האופייניות לפשטי הצפה (H). ב) מיפוי הקרקעות המעובדות עיבוד חקלאי (בצבע ירוק) בשטחי אגני ההיקוות של הגליל המערבי. ניכר כי מרבית העיבוד החקלאי האינטנסיבי מצוי בפשטי ההצפה.

להבדיל מפשטי ההצפה שאינם נלקחים בחשבון כבתי גידול ייחודיים וחשובים כן בוצעה עבודת מיפוי של בתי גידול לחים בהם מלחות, ביצות וברכות חורף (קפלן ופדרמן, 2014) שהתפרסמה כחלק מדוח מצב הטבע של המארג שעסק בבתי גידול לחים בישראל. בנוסף לכך קיימת עבודת מיפוי (Levin et al., 2009) המתארת ומכמתת את הפגיעה המצטברת במספר בריכות החורף ואיכותן כבתי גידול. שטחי הביצה ואתרים של ברכות חורף מווסתים באופן מקומי את הסכנה להצפות בקולטם את עודפי הגשמים. בנוסף על כך, אתרים אלה מקיימים אוכלוסיית צומח אופיינית ומשמשים בית גדול לזוחלים, דו-חיים, ציפורים, וחסרי חוליות.

גם לשטחים הפתוחים שבתוך המרחבים העירוניים בישראל השיבות רבה בוויסות נגר עילי ושיטפונות (Pataki et al., 2011). בדומה למה שקורה בכל העולם, גם בישראל כמות הנגר שנוצרת במרחביים העירוניים גבוהה ביחס לשטחים טבעיים עקב אטימת פני השטח בבינוי ובסלילה, גורם המגביל את חידור מי הגשמים לקרקע ומעלה את הסיכון להצפות בעיר (גולדשלגר וחוב, 2005; זיגל וחוב, 2009; Grodek et al., 2011). תופעת עודפי הנגר העילי בתוך יישובים מוכרת היטב גם באזור האקלים הים-תיכוני (Grodek et al., 2011) וגם בזה המדברי (שאוקלר, 2005), כאשר ישנם הבדלים גדולים בין יישובים, בהתאם ליחס בין השטחים האטומים והחדירים ולתפוסת שלהם, וכתלות במאפיינים הטופוגרפיים והגיאולוגיים ובמידת ההשקעה הכספית בהסדרת הנושא (שאוקלר, 2005; Grodek et al., 2011). על-פי הערכת רשות המים, כבר כיום נוצרים במרחב העירוני כ-40 מיליון מ"ק מי נגר בממוצע לשנה, כמות הצפויה לגדול פי 4 עד שנת 2050, בשל גידול האוכלוסייה, תהליך העיור המואץ ושינויי אקלים (אלון מוזס וחוב, 2017; בוקמן, 2017; טל, 2017). במקרים רבים מכילים מי הנגר בסביבה העירונית רמות גבוהות של מזהמים, שעשויים לפגוע במי התהום או בערוצים שהשטחים הללו מתנקזים אליהם (גולדשלגר וחוב, 2009; טל, 2017; Pataki et al., 2011). שיקולי ניהול הנגר העירוני נכללים במספר תכניות מתאר ארציות (תמ"א), מדריכים, המלצות והנחיות, אולם יישומם בפועל חלקי בלבד (פרלמן וחוב, 2004; טל, 2015; זינגר, 2017).

במערכות חקלאיות, גם לחיפוי הקרקע על ידי צמחי כיסוי ושאריות צמחים (כולל גזם מרוסק) יש השפעה על נגר. חיפוי קרקע מלא מעכב את התפתחות תהליכי הנגר ומרסן אותם כיוון שהוא מאפשר חידור מים לקרקע בצורה טובה יותר, מאפשר הגדלת האוגר המקומי ומהווה אלמנט חספוס. בהשפעת חיפוי קרקע נמדדו פחות אירועי זרימה, נפחי הנגר היו קטנים יותר, קרי איבודי מים קטנים יותר, והילוך הגאות היה מרוסן. ניקוז המים העודפים מתבצע אם כן במתינות, כך שפוטנציאל ההרס והסחיפה של מי הנגר נמוך (אגוזי, אשל ופורמן, 2015).

### 3.1.2.2 כימות או הערכה של התועלת לאדם מהשרות

מפעלי הניקוז מתוקצבים לשנת 2019 בסכום של 55,000,000 ₪ (משרד החקלאות ופיתוח הכפר, 2018). סכום זה אינו כולל מיליוני שקלים נוספים בשנה הנפסקים ע"י בתי המשפט לנפגעי נזקי שיטפונות והצפות, נזקים הכוללים אבדות בנפש, פציעה ופגיעה בתשתיות וברכוש (הצפה, סחיפה והשקעת סחף בבתים, שדות חקלאיים וכבישים). זרימה עוצמתית עם התחתרות נחלים יכולה להביא להרס מתקנים ומבנים (למשל התמוטטות גשרים), עקירת צמחיה ועוד. וויסות שיטפונות על ידי המערכת האקולוגית הוא משמעותי ועשוי לחסוך מיליוני שקלים בטווח הארוך. תועלות נוספות שיצמחו מעידוד שרותי וויסות אלה כוללות שיקום ביו-פיסקלי מהיר של נחלים והקטנת עלויות התחזוקה של רצועות הנחל, יצירת

מקומות לפנאי ונופש, וכן שיפור איכות המים והאפשרות לנצלם ע"י הקטנת שיעור החומר המרחף המוסעת בעמודת המים בנחלים.

### 3.1.3. מגמות

#### 3.1.3.1. מגמות וגורמים מחוללי שינוי באספקת השירות

שלושה גורמים עיקריים הביאו להידלדלות מצב הנחלים וצומח אפיקי נחלים: פיתוח מואץ לבנייה, תשתיות וחקלאות על חשבון פשטי הצפה; מפעלי הסדרת נחלים והטיות מקום המדינה ועד ימינו הביאו לשינויים מורפולוגיים באפיקי הנחלים וייצובם בצורה קשיחה; ניצול מקורות המים ושינוי המשטר ההידרולוגי הביאו לתמותה והכחדה של צמחייה הידרופילית וכניסה של מיני צומח פולשים. כל אלה הביאו להקטנת היכולת של אפיק הנחל לקיים את מערכת וויסות הזרימות הטבעית ובדיעבד להגדלת הסיכון להצפות ולנזקי שיטפונות.

אין ספק שצמצום שטחי ההצפה באמצעות ניקוזם במערכות ניקוז של תעלות פתוחות ותת-קרקעיות אל ערוצי הנחלים ואף היעלמותם, בעיקר מנפי השרון בעקבות פתוח מואץ, יש לו השלכות אזוריות על ריסון שיטפונות והסיכון להצפות (Levin et al., 2009). לסיכום, מקומות בהם יכולת הוויסות הטבעי נפגעת והם למעשה מועדי שיטפונות והצפות, אלה מקומות שבהם התכסית הצמחית דלה, הקרקע עצמה אטומה במידה זו או אחרת לקליטת מים (קרקעות חרסיתיות לדוגמה) והם כוללים שטחים בנויים בהם אין אפשרות למים לחלחל.

שיקום קטע נחל חביבה (יובל של נחל חדרה) ע"י רשות ניקוז ונחלים שרון הוא דוגמה מצוינת לכך שאפיק נחל עם מורפולוגיה מגוונת וצמחיית גדות עשירה המתקיימת על סמך זרימת בסיס נמוכה הפחיתה נזקי שיטפונות במהלך אירוע השיטפון הגדול בנחל חדרה בשנת 2013 בניגוד לנזקים במיליוני שו שאירעו באגן היקוות נחל חדרה. כמו כן עלויות התחזוקה של נחל זה ככול הנראה נמוכות מנחלים סמוכים בעלי מאפיינים הידרולוגיים דומים שטרם שוקמו (פרחי, מידע בע"פ, אפריל 2016).

#### 3.1.3.2. מבט לעתיד

תחזיות לשינויי אקלים באזורנו צופות התחממות, הקטנת כמויות משקעים, עליה בשכיחות ועצמת גלי חום ובצורות (IPCC, 2013). שינויים אלו יכולים להשפיע על מגוון המינים ועל ידי כך לגרום לשינוי בוויסות השיטפונות. אירועי משקעים קיצוניים חזויים לעלות ברמה הגלובלית אולם השינוי אינו אחיד במרחב (IPCC, 2013) ואין מגמה ברורה לאזורנו. יחד עם זאת, ישנם מחקרים המצביעים על עלייה באירועי משקעים עוצמתיים באזורנו (Samuels et al., 2010) אשר עשויים להביא לעליה בשכיחות ובעצמת השיטפונות.

בהקשר זה, שינוי בשימושי קרקע יכול להביא לשינוי משמעותי באספקת השירות. המשך הבינוי המואץ עשוי להביא להגדלת הנגר העילי, ויתכן להגדלה בשכיחות שיטפונות. שינויים בגידולים חקלאיים, בצורת העיבוד ובשיטות שימור הקרקע גם כן יכולים להביא לשינויים בנגר העילי ובמשטר השיטפונות. יתר על כן, המשך לחצי הפיתוח ו"הנוחות" של מקימי תשתיות לאומיות (קווי מים, ביוב, חשמל, ותחבורה) לבצען לאורך ערוצי נחלים עשויים להגביל את היכולת לשמר מינים ובתי גידול לחים לאורך אפיקי נחלים, כיוון שיש להגן על תשתיות אלה מפני נזקי שיטפון והצפה. למעשה התכנון הפיסי בישראל כפי שהוא בא לידי ביטוי בתכנון הניקוז ושימושי הקרקע באגן ההיקוות מביא להגדלת הסיכון לנזקי

הצפות. ללא רפורמה באופן ניהול אגן ההיקוות שתכלול שמירה של פשטי הצפה, הרחקת העיבוד החקלאי אל מעבר לרצועת חייץ של צמחיית אפיקים אופיינית - נקבל חיבור ישיר בין השטח התורם נגר עילי וסחף לגדות וערוץ הנחל. שינוי הגישה והכרה בחשיבות וביכולת של אפיק הנחל לווסת את הזרימות "בעצמו" יועילו בריסון שיטפונות ואירועי קיצון ויסייעו בשימור המגוון הביולוגי של הצומח ויתר המינים המתקיימים בסביבה זו ולהפחתת עלויות תחזוקה שוטפות של מסדרון הנחל.

### 3.1.4 פערי מידע וידע

מידע הנוגע לצומח אפיקי הנחלים ברמה הארצית לא נסקר ומופה (קפלן, גזית ורמון, מידע בע"פ, אוגוסט 2014). ישנן עבודות המתייחסות לצומח אפיקי נחלים בבתי גידול לחים מסוימים דוגמת העבודה על הצומח ההידרופילי בירקון (אגמי, 1973, 1995; Litav & Agami, 1976), אך גם בסקרים האקולוגיים הללו אין התייחסות לחשיבות צומח אפיקי נחלים כמספקי שרות וויסות לריסון הספיקות. מנגד קיימים דוחות מקצועיים בהם יש התייחסות ליישוב גדות אפיקי נחלים בצומח כאמצעי למניעת סחיפה והתמוטטות של גדות, אך הראייה האקולוגית חסרה (למשל, סיני וחוב, 2006). באחרונה התפרסם דו"ח סיכום של סקר בנושא "השפעת עצים נטועים באפיקי נחלים על יציבותם ומשטר הזרימה באגנים" (גטקר ומאור, 2008). בעבודה זו נסקרו מספר אפיקי נחלים במטרה לבדוק את השפעת הימצאות עצים באפיקים על יציבות האפיק. מכאן שעיקר ההתייחסות הייתה לצומח מעוצה ולא למגוון הרחב הקיים של צומח אפיקי נחלים. בדו"ח מצוינים מספר מקרי בוחן מעניינים, לדוגמה, עצי אלון וברוש באפיק נחל ספלול (שטח אגן היקוות של 6 קמ"ר) אשר הקטינו את מהירויות הזרימה ומנעו נזקים לדפנות הערוץ באירוע שיטפון שבו נמדדה ספיקת שיא נדירה של 78 מקש"נ, ספיקה שהסתברות השגתה קטנה מ-1%. בדו"ח קיימת גם התייחסות לעצים באפיקים אשר ניטעו במכוון או עצים שהם מינים פולשים, אך ההבחנות הללו לא קיימות וניכר שחסר ליווי אקולוגי מקצועי.

#### עיקרי פערי הידע:

- חסר מיפוי וסיווג צומח אפיקי נחלים ברמה הארצית – משימה מורכבת הנוגעת בנושאים נוספים כגון מינים פולשים ושיקום בתי גידול לחים.
- חסר מידע רב לגבי צומח טבעי ובתי גידול של פשטי הצפה. הפגיעה באזורים אלה היא חמורה ביותר, למרות חשיבותם הרבה בריסון שיטפונות.
- חסר ניטור ומחקר רב-תחומי המשלב בין ידע הידרולוגי, אקולוגי וגיאומורפולוגי ומכאן שההבנה לגבי התועלות בשימור של פשטי הצפה חסרה בקהילה המדעית וודאי שברמת מקבלי ההחלטות.

### 3.2 ויסות שריפות יער

#### 3.2.1 כללי

##### 3.2.1.1 תיאור השירות

מקורן של רוב שריפות היער בישראל הוא בפעילות אנושית מכוונת או כתוצאה מרשלנות, והן מתרחשות בתדירות גבוהה במערכות החבל הים-תיכוני של היערות הנטועים ושל החורשים והבתות. ממדי ההתלקחות, ההתפשטות ועוצמת שריפת



היער תלויה בממדי "החומר הדליק", היינו בתכונות הדליקות/עמידות של הצומח העצי והשיחי שבמערכות האקולוגיות. לפיכך הרכב הצומח עשוי לווסת את עצמת שריפות היער וממדי התפשטותן במרחב, ולכן גם את ממדי נזקיהן. גם לאוכלי עשב גדולים יכולת להקטין את כמות חומר הבעירה שבמערכת וע"י כך למתן את התפשטות השריפות ואת עצמתן.

### 3.2.1.2. מנגנון הפקת השירות ורכיבי המגוון הביולוגי המעורבים באספקתו

לצד משתנים אקלימיים (טמפרטורה, לחות אוויר ועצמת רוח בשילוב עם תדירות/רציפות משקעים לאורך זמן) וטופוגרפיים (משפיעים על כיווני רוח מקומיים), ממדי השרפות ועוצמתן מושפעים במידה רבה מהרכב מיני הצומח של המערכת האקולוגית הנשרפת ומידת הדליקות שלהם. צמחים בעלי תכונות של עמידות כנגד התלקחות עשויים למתן את השרפה, ולכן גם את היקפי הנזק לאדם בנפש וברכוש. באגן הים התיכון תכולת מים גבוהה בצמח נחשבת לגורם מרכזי המעלה את עמידותו של הצמח מפני שרפה. תכונה זו מאפיינת מינים בעלי עלים גלדניים מכוסים שעווה שאיבוד המים מהם קטן, כמו אלת המסטיק, קידה שעירה וחלק ממיני האלון, וכן צמחים הגדלים בקרבת מקור מים, כמו זולב והרדוף הנחלים (Dimitrakopoulos & Papaioannou, 2001). צמחים אלה דליקים פחות ממינים שעליהם הצרים נוטים לאבד מים בקלות יחסית בגלל יחס גבוה של שטח פנים לנפח, כמו אורן ירושלים, אורן קפריסאי (ברוטיה) וזית אירופי (Dimitrakopoulos & Papaioannou, 2001), הנפוצים בישראל. בישראל שטחי יערות אורנים נוטים להישרף יותר משטחי חורש טבעי שהאלון שולט בהם (Carmel et al., 2009; Paz et al., 2011), בעיקר בגלל הענפים והאצטרובלים המתים שנשארים על עצי האורן גם אחרי שכבר יבשו (Ne'eman et al., 2004). תכולה גבוהה של שמנים נדיפים ושרף מעלה במעט את דליקותו של צמח, וייתכן שגם תכונה זו תורמת לרמת הדליקות של עצי האורן הנפוצים ביערות הנטועים בישראל (Alessio et al., 2008). תכולת השרף של האלון נמוכה מזו של האורן, ולכן אירועי קיצון של שריפות פחות מתחוללים בחורשים ובבתות עם האלונים מאשר ביערות הנטועים באורנים.

לאוכלי עשב גדולים, כמו מיני איילים וצבאים שאוכלוסיות גדולות שלהם היו בעבר חלק מהמערכת האקולוגית הטבעית בישראל יכולת להקטין את כמות חומר הבעירה שבמערכת (Nader et al., 2007). כיום, משתמשים ברעיה של בקר ושל צאן ככלי אסטרטגי חשוב למניעת שריפות. בקר וכבשים הניזונים בעיקר מהצומח העשבוני, ועצים, הניזונים מצומח מעוצה, מפחיתים את נפחו של ה"דלק" וע"י כך ממתנים את התפשטות השריפות ואת עצמתן (לנדאו וחוב', 2016; et al., 2007).

## 3.2.2. מצב נוכחי

### 3.2.2.1. התועלות ותרומתן לרכיבים השונים של רוחות האדם – כלכלי, בריאותי וחברתי-תרבותי

התועלת בויסות שריפות יער היא במיתון ממדי נזקים לאדם בנפש וברכוש, נזקים שבאו לידי ביטוי באופן יוצא דופן בחומרתם בשריפה שהתרחשה בדצמבר 2010 בכרמל. במרבית שריפות היער המתרחשות בישראל אין פגיעה בחיי אדם, לכן תועלת עיקרית של השירות היא מיתון העלות הכלכלית שנובעת בעיקר מפגיעה בערכים אקולוגיים ובשטחים הירוקים המשמשים לנופש. פגיעה באפשרות לניצול מסחרי של העץ, שריפת בתים בקרבת היערות והעלות הגבוהה של כיבוי האש (מאטי, 2018). קיימת גם תועלת בשימוש ברעייה לויסות שריפות, שכן הרעייה מפחיתה את חומר הבעירה לאורך זמן ובעלויות יחסית נמוכות (לנדאו וחוב', 2016).

### 3.2.2.2. תיאור מרחבי של אספקת השרות (מיפוי) והשוואה בין מערכות בממדי האספקה של השרות

המערכות האקולוגיות של החבל הים תיכוני בישראל מועדות לשרפות יער בהיקפים שונים ובתדירות גבוהה (טסלר, 2009). לפי נתוני מאטי (מאגר מידע לחקר אסונות טבע בישראל), מספר שריפות היער בשטח הגדול מ-1000 דונם, נע בין 300 ל-700 בשנה (ענבר, 2007; מאטי, 2018). לפי נתוני קק"ל (2011) מתרחשות בישראל בשנה כאלף שריפות יער בממוצע, בהיקף של כ-37 אלף דונם בממוצע (לצורך השוואה, השטח גדול משטח השיפוט של העיר נתניה). זאת בעוד ששטחי היער בישראל מונים כ-1.621 מיליון דונם, מעט יותר מ-7% משטח הכולל של מדינת ישראל. כך שבממוצע בכל שנה נשרפים כ-2% משטחי היערות. בנוסף, כ-75% מכלל השריפות מתחוללות בתקופה שבין חודש מאי לחודש ספטמבר (רגב, עמרם ועמית, 2012).

מחקר שבדק את ההבדלים בין מסדי הנתונים העיקריים על שריפות (Levin et al., 2016) מצא כי הם מעלים מסקנות שונות בקשר למשטר השריפות בישראל. לפי נתוני קק"ל, רט"ג והרשות הארצית לכבאות והצלה קיים מתאם גבוה בין יערות נטועים לשריפות – לאור העובדה שמרבית הנתונים מבוססים על שריפות ביערות נטועים או שריפות בשטחים פתוחים בניהול קק"ל. ואילו לפי נתוני לוויין נאס"א, המצלם את כלל השטח השרוף, בלי להבחין איזה חלק מהשטח הוא תוצר של איזו שריפה (אם הן התרחשו בפרקי זמנים קצרים זו לצד זו), וכן לא מאתר שריפות של פחות מקילומטר רבוע (קנה מידה שמאפיין את מרבית השריפות בישראל) - האביב והסתיו הן העונות המועדות לפורענות ורוב השטחים הנשרפים בתדירות גבוהה נמצאים דווקא בגולן, וכן בשפלת יהודה. כלומר, יש כאן הטיה של המאגר המבוסס על נתוני קק"ל לשריפות קטנות וביערות, והטיה של נתוני הלוויין לשריפות גדולות. מה שמבחין בין שריפה קטנה לגדולה זה יכולתה להתפשט. לכן, הגולן מועד לשריפות גדולות: יש בו שפע צומח עשבוני יבש בעונת הקיץ בשטחי אש שאין לידם הרבה יישובים, ולכן גם מאמצי הכיבוי מוגבלים (פרופ' לוי, מתוך אורלב, 2016).

היקף השטחים המיוערים בישראל גדול יחסית, בפרט יערות נטועי אורנים הדליקים במיוחד (דופור-דרור, 2011). ממדי הפקת שרות וויסות שריפות היער תלויים בעצם קיומם ומיקומם של מיני הצומח השונים במערכת. כך למשל, ניתוח שריפת 2010 בכרמל (Paz et al., 2011) הראה כי עמידותם של האלונים הייתה גבוהה מזו של האורנים.

### 3.2.2.3. זיהוי המשתמשים, המגורים השונים בחברה הנהנים מהשרות

כלל הציבור בישראל עשוי להשתמש בשירות זה. באופן ספציפי, הגורמים שמנהלים את שטחי החורש והיער, ובייחוד את הממשק למניעת שריפות במערכות אלה, הם משתמשים פוטנציאליים בשירות הזה.

## 3.2.3. מגמות באספקת השרות

### 3.2.3.1. מגמות וגורמים מחוללי שינוי באספקת השרות

במהלך העשורים האחרונים עלו היקפן, חומרתן ותדירותן של שרפות היער והחורש בארצות אגן הים התיכון וביניהן ישראל (טסלר, 2009; אשכנזי וחוב, 2018). העלייה בחומרת השריפות בישראל מיוחסת בעיקר לשילוב של הצטברות חומר דלק צמחי עקב התפתחות היער והחורש עם רצף שנות בצורת שגרים להתייבשות חומרי דלק (Perevolotsky, 2005). דוגמאות לכך הן שריפות הענק בכרמל בשנים 1989 ו-2010 וכן גל השריפות שפקד את ישראל בחודש נובמבר 2016 (אשכנזי וחוב, 2018). לגבי המגמה בנושא זה, בארצות הים התיכון באירופה הממצאים אינם חד

משמעיים, כאשר העלייה בהיקפי השריפות באזורים מסוימים מיוחסת להתחממות ולשינויים דמוגרפיים ואילו הירידה בהיקפי השריפות באזורים אחרים מיוחסת בעיקר לפעילות מניעה אינטנסיבית (ראה למשל, Turco et al., 2016).

הגורמים העיקריים המשפיעים על היכולת של המערכת לוסת את השריפות הם ירידה בפעילויות מסורתיות כגון רעייה וכריתה, נטיעה של מיני יער דליקים, ממשק יער והתחממות גלובלית. גורמים מחוללי שינוי עקיפים משפיעים על הופעת השריפות, ביניהם עלייה בשימושי היער לפעילות פנאי ונופש ועלייה בצפיפות האוכלוסייה ובפיתוח (טסלר, 2009).

#### גורמים המשפיעים על היכולת של המערכת לוסת את השריפות:

- **ירידה בפעילויות מסורתיות כגון רעייה וכריתה:** בעשורים האחרונים ישנה מגמת ירידה בפעילויות מסורתיות כגון רעייה וכריתה, אשר הובילה לסגירה של הצומח ולעלייה בתדירותן ובעוצמתן של שרפות יער וחורש. השילוב בין תקופת יובש ארוכה לבין הצטברות של חומר צמחי יבש וכיסוי גבוה ורציף של צמחים בעלי פוטנציאל רב לדלק, מעלה את הסיכוי להתלקחות התפשטות שריפות והתפשטותן המהירה (לנדאו חוב', 2016). אם זאת, נמצא כי רעייה של צאן ובקר ביערות, בשמורות טבע ובאזורי חיץ מסייעת למנוע ולבלום שרפות על ידי הפחתת חומר הבעירה לאורך זמן ובעלויות נמוכות (לנדאו וחוב', 2016; Nader et al., 2007).
- **נטיעה של מיני יער דליקים:** במשך שנים רבות הייתה בארץ מגמה של נטיעת מינים מעוצים שגופם מכיל שרף, שהוא דליק ביותר, כגון אורנים.
- **התחממות גלובלית:** סכנת השריפות נובעת לא רק מהתלקחות עצמה, אלא גם מתנאי מזג האוויר והצמחייה, שמאפשרים את התפשטותה. מוערך ששינויי האקלים המקומיים הנובעים מהתחממות עולמית תורמים להחמרה באירועי שריפות היער בישראל (ישראלי, 2013; Levin et al., 2016). לפי התחזיות, הקיצים יהיו חמים יותר והחורפים שחונים יותר (אורלב, 2016), אם כי בדומה למצב בעולם קשה לקבוע מה גודל התרומה להחמרה באירועי השריפות (ישראלי, 2013). ההתחממות העולמית גורמת לעלייה בחומר בעירה זמין התורם להחמרת השריפות. מצד אחד, התארכות תקופת הקיץ המלווה בחום ועלייה בתדירות הבערות גורמות להידלדלות המים בשכבות הקרקע העמוקות, מה שמוביל ליער הסובל מעקת יובש ומגדיל את הסיכוי להתפשטות האש. היבט חשוב נוסף הוא שהיובש מקשה על העצים, אך מעודד צמיחה של עשבים חד שנתיים (כולל מינים פולשניים) – חומר דלק פוטנציאלי (ישראלי, 2013; אורלב, 2016). אלה נהנים מהטמפרטורות הגבוהות ומהעלייה ברצף הגעתן של תקופות חמות, מתפתחים תוך זמן קצר (במהלך האביב עד הקיץ), צוברים מסה צמחית מפותחת ומתייבשים בקיץ. כך דווקא הצומח העשבוני משמש גורם מכריע בקיום רצף חומר הבעירה בתת-היער ומאפשר לשריפות להתפשט לממדי ענק (ישראלי, 2013).

#### גורמים המשפיעים על הופעת השריפות:

- **עלייה בשימושי היער לפעילות פנאי ונופש:** כ-75% מכלל שריפות היער מתחוללות בתקופה שבין חודש מאי לחודש ספטמבר (רגב, עמרם ועמית, 2012), המאופיינים בתנאים מטאורולוגיים ותנאי תשתית (למשל צומח יבש המהווה חומר בעירה), אך גם מאופיינים בשימוש גבוה יותר של פנאי ונופש בקרב מטיילים ביערות. על-פי נתוני קק"ל (2011), מתוך כלל השריפות המתרחשות בשטחים פתוחים, יש סיכוי גבוה יותר לשריפה בימי חמישי (וברמה נמוכה יותר גם בימי שישי ושבת ביחס לשאר ימות השבוע). כ-80% מהשטחים הפתוחים שנשרפו בישראל נשרפו בימי חמישי - כ-35 אלף דונם. זאת בהשוואה לממוצע של 1.1-1.7 דונם בימי חול ול-2 דונם בממוצע בימי שבת.



הסיבות העיקריות לשריפות, בנוסף להצתות בזדון, הן פעילות כלכלית (שריפת אשפה ופסולת) ופעילות צבאית, המתגברות במהלך סוף השבוע, וכן חוסר זהירותם של מטיילים, הפוקדים את היערות ואת הגנים בסופי השבוע (רגב, עמרם ועמית, 2012).

- **גורם עקיף שיש לו השפעה הוא העלייה בצפיפות האוכלוסייה ובפיתוח:** העלייה המתמידה בצפיפות האוכלוסייה בישראל והמשך הלחץ האנושי דוגמת פיתוח, תשתיות תחבורה, תיירות ופעילות צה"ל בשטחים הפתוחים, מעלים באופן ישיר את הסבירות להתלקחות שריפות יער וחורש בתדירות ובחומרה גבוהה מהעבר (טסלר, 2009; דופור-דרור, 2011). בסוף, לקחי מלחמת לבנון השנייה מלמדים כי יש להיערך גם להיווצרות מוקדי שריפות רבים בפרק זמן קצר בעקבות נפילת טילים בשטחים המיוערים בישראל (דופור-דרור, 2011).

#### 3.2.4 פערי ידע

לא קיים מאגר של נתונים מלאים ומדויקים על משטר השריפות בישראל (Levin et al., 2016). בנוסף, חסר מידע ממוקד לגבי ממדי הפקת שירות וויסות השריפות בארץ ע"י חברות צומח שונות, כלומר, איזה מינים של צמחים יכולים לספק, לפחות פוטנציאלית, שירות זה במידה הרבה ביותר.

## 4. ויסות תהליכי סחף קרקעות, מיתון סופות חול ואבק

### 4.1 כללי

#### 4.1.1 מהות השירות

שרות זה מתייחס לקרקע המהווה את התשתית הפיזית של המערכות האקולוגיות היבשתיות ואלה של מערכות סמוכות להן (חופי המערכת הימית וגדות מערכות המים הפנים-ארציות), ולעמידותה של תשתית זו אל מול תהליכים פיזיים שרובם תלויי אקלים. מדובר בעיקר בגשמים המכים בפני הקרקע ועשויים לנתק מפני הקרקע את חלקיקיה. רוב חלקיקים אלה הם מינרליים (מקורם קרקעות חול, דיונות, גדות גופי מים פנים-ארציים, ופניהם של רכסי כורכר של חופי הים-התיכון), אך בחלקיקים הניתקים גם חומרים אורגניים. גודל החלקיקים וממדי התאחיזה שלהם שונה במערכות השונות, אך עם התרחש הניתוק, הוא מהווה את השלב הראשון של תהליך סחיפת הקרקע, היינו – ייצור הסחף. אחרי שלב ייצור הסחף מתרחש שלב הסעת הסחף, בו מוסעים החלקיקים אל מחוץ לאזור ההסרה, וזאת באמצעות זרמי הנגר העילי שמקורו במי הגשמים (ברוב הקרקעות במערכות החבל הים-תיכוני, אך גם במערכות המדבריות), או באמצעות הרוחות (בעיקר בקרקעות החוליות של החבל הים-תיכוני ובמערכות המדבריות, אך גם בקרקעות הלס שבמערכות המדבריות), וכן באמצעות גלי הים (במצוק הכורכר החופי שבמערכת האקולוגית של הים התיכון). השלב השלישי, שלב ההשקעה (Deposition) מתרחש כאשר מהירות הזרימה (מים, רוח, עוצמת הגלים) קטנה והסחף מושקע על פני התשתיות באזורים מרוחקים ממקורו, וזאת בתלות באופי החומרים שבסחף ובתנאי הסביבה אליה הגיעו. שרות ויסות סחיפת הקרקע אמור למתן את תהליך הסחיפה על שלביו השונים.

#### 4.1.2 המנגנון באמצעותו מופק השירות ורכיבי המגוון הביולוגי המעורבים באספקתו

ויסות סחיפת הקרקע מוביל למיתון ממדי הסחיפה בשלב הניתוק ובשלב ההסעה, ובעקבותיהם ממתן גם את שלב ההשקעה שבסוף התהליך. מנגנוני השירות מתבססים על תכסית הצומח, בעיקר זו של מערכות החבל הים-תיכוני, אך גם זו שבמערכות המדבריות, ועל החומר האורגני ומגוון היצורים הנמצאים בתוך הקרקע. לוויסות, ובעקבותיו המיתון או אף הבלימה של סחיפת הקרקע על ידי רכיבי המערכת האקולוגית, מספר מנגנונים:

1. **בלימה של אנרגיית טיפות הגשם** הניתך על חופות/צמרות הצמחים, החל מהחופות הנמוכות הקרובות לפני הקרקע שבתות העשבוניות וכלה בצמרות עצי החורש והיערות הנטועים הרחוקות מפני הקרקע. ככל שהתכסית צפופה יותר וגבוהה יותר פיזור הטיפות המגיעות לפני הקרקע גדול יותר, מה שמביא למיתון עוצמת פגיעת טיפות הגשם בתלכדי הקרקע (צרורות של חלקיקים צמודים זה לזה, הרווחים בין התלכידים מקנים לקרקע את תחיהותה אך גם עשויים לתרום לסחיפתה). בכך מתבצע מיתון של שלב הניתוק על ידי התכסית הצמחית. אך הפיזור ומיתון עוצמת הפגיעה בתלכידים מביאים גם למיתון שלב ההסעה, שכן מיתון עוצמת פגיעת טיפות הגשם בקרקע מקטין את התפוררות התלכידים ואת סתימת הרווחים ביניהם, ובכך מונע את איטום הקרקע. מכאן שבלימת האנרגיה של טיפות הגשם עשויה גם להעלות את החדרת המים לתוך הקרקע, ובכך למתן את יצירת הנגר עילי, אשר לו פוטנציאל לניתוק וסחיפה של חלקיקי קרקע.

2. **לכידה פיזית של הסחף ומיתון הזרימה שלו** דרך מחסום תכסית הצומח, עשבוני ועונתי, ויותר מכך דרך שיחים ובני שיח (סירה קוצנית לדוגמה), ועוד יותר מכך גם דרך החורש והיער הנטוע, וזאת כאשר מתחת לחופת העצים

קיים גם תת-יער הבולם את זרם הקרקע הנסחפת וגורם לשקיעתו. למנגנון זה חשיבות גדולה בעיקר ביערות הנמצאים באגן זרימה המוביל שיטפונות מאזורים חשופים מתכסית צמחית. בנוסף, ככל שהתכסית הצמחית עבה יותר וגבוהה יותר, היא מתפקדת טוב יותר כגורם המביא לחספוס רב יותר של פני התשתית הקרקעית, חספוס הממתן את זרימת המים עם הסחף שבהם, וגם את עצמת הרוח הנושאת סחף (בעיקר חול ואבק).

כאשר רצף התכסית הצמחית לאורך מדרונות אגן הניקוז מקוטע, גם תפרוסת כתמית שלה עשויה להפחית את פוטנציאל הסחיפה על ידי מים ואו רוח. בנוסף, עליה בגובה החופה לא רק מסייע במניעת מגע ישיר בין טיפות הגשם לקרקע אלא גם מביאה להפחתת מהירות הרוח ובכך למניעת נזקי סחף רוח. כמו-כן, עליה בתכולה וצפיפות תכסית הצומח מסייעת להפחתת טמפרטורת פני הקרקע ומכאן למיתון אבדן מים בהתאדות מהקרקע. מנגנון זה מייצל את ניצול תכולת המים בקרקע המתחזקת את התכסית הצמחית.

3. **החזקת הקרקע ומניעת היסחפותה** על ידי מערכת השורשים של התכסית הצמחית. למערכות השורשים בקרקע המדברית חשיבות גדולה שכן שטחים נרחבים במדבר אינם מכוסים בצומח והם חשופים לסחיפה של מים ורוח. מערכת השורשים של הצמחים במערכות המדבריות, היא מסועפת, יורדת לעומק הקרקע ואף שולחת סעיפים קרוב לפני הקרקע. מערכת שורשים זו מתפקדת גם לאחר תמותה או הסרה של חלקיה העל-אדמתיים של התכסית (Kutiel et al., 1995; Lavee et al., 1995).

4. **חיזוק מבנה הקרקע ולכידותה** על-ידי החומר האורגני שבקרקע ועל-ידי פעילותם של יצורי הקרקע הזעירים (מיקרואורגניזמים). הגדלה בתכולת החומר האורגני (הומוס) בקרקע כתוצאה מנשר ותמותה של צמחייה תורמת ליציבות הקרקע ולעמידותה בפני סחיפה (בן-חור וחוב', 2006). החומר האורגני מתלכד ומייצב את מבנה הקרקע, ומונע את מנגנון הניתוק במהלך הגשם, שהינו השלב הראשון וההכרחי בסחיפת קרקע. המיקרואורגניזמים שבקרקע מייצרים פוליסכרידים המהווים חומרי מילוט המייצבים את מבנה הקרקע, וקורי הפטריות מהווים חוטי קישור המחברים את חלקיקי הקרקע יחד. העשרה מבחינת מגוון, כמות ופעילות של המיקרואורגניזמים בקרקע נובעת מהתפתחות צמחייה רבה ומגוונת. זאת מכיוון, שהמיקרואורגניזמים בקרקע ניזונים מהחומר האורגני הצמחי או יוצרים סימביוזה עם שורשי הצמחים. במערכות המדבריות קרומים ביוגניים הנבנים על-ידי יצורים מיקרוסקופיים (חיידקים, פטריות ואצות, יחד עם צמחים זעירים) מכסים שטחים נרחבים החשופים מצומח (צעדי, 1999). בגלל המבנה שלהם והלכידות הגבוהה שהם מייצרים בשכבת הקרקע העליונה (מספר מ"מ), הקרומים הללו מקטינים את סחיפת הקרקע. בעת גשם, קרומי הקרקע הביולוגיים סופחים מים, נאטמים ולכן מגנים על הקרקע שמתחתם מסחיפה על ידי מים (צעדי, 1999).

5. **הגדלת המוליכות ההידראולית של הקרקע** הודות לפעילותם של יצורי קרקע שונים. שלשולים, חיפושיות ויצורים רב-תאיים אחרים מתחזים את הקרקע ומגדילים את הנקבוביות שבה. כתוצאה מכך המוליכות ההידראולית של הקרקע גדלה, והנגר במהלך הגשם פוחת. עלייה ביצורי קרקע אלה מושפעת אף היא מממדי תכסית הצומח שכן הם מתפתחים בסמוך לצמחייה ותלויים בה ובחומר האורגני שבקרקע.

6. **חספוס פני הקרקע** על-ידי שאריות צומח מת וקרומי קרקע ביוגניים. שיירי צמחים מתים שנותרים על פני הקרקע במהלך הקיץ היבש, מגבירים את חספוס פניה, מה שעשוי למתן את קצב זרימת מי הנגר העילי המגיע בעונת הגשמים,

ובכך גם את ממדי סחיפת הקרקע (Kutiel et al., 1995). גם המבנה של קרומי הקרקע יוצר שטח פנים מחוספס שעשוי להאט קצבי זרימה של מים וגם לוכד חלקיקי אבק הנסחפים ברוח (Zaady & Offer, 2010).

7. הפחתת כמות המים הזמינים לנגר וסחיפה של קרקע על-ידי הצומח. מדובר במנגנון הידרולוגי – הצמחייה, עקב תהליך הדיות (טרנספירציה), מפחיתה באופן מהיר את תכולת הרטיבות בקרקע במרווחי הזמן שבין אירועי הגשם. כתוצאה מכך, חלה עלייה בערכי החידור של הקרקע המובילה לפחיתה בשיעורי הנגר העילי בסופות הגשם העוקבות ומקטינה פוטנציאלית את שיעורי הסחף.

לסיכום, התכסית הצמחית של קרקעות ישראל בשילוב עם המערכת האקולוגית שבתוך הקרקע, אשר תלויה במידה רבה בצומח, מספקות את מנגנוני וויסות סחיפתן של קרקעות אלה. ככל שתכסית הצומח עבה, צפופה וגבוהה יותר וככל שריכוז החומר האורגני וממדי הפעילות הביולוגית הקרקעית גבוהים יותר, כך המנגנונים הללו יעילים יותר. בתוך כך, אין מידע על תרומת עושר מיני הצומח ליעילות של התכסית באספקת השירות, אך אפשר שהמגוון עצמו תורם לשיקום פני הקרקע לאחר סחיפתם (Stavi et al., 2014). בדומה לכך, חסר גם ידע לגבי הקשר בין המגוון הביולוגי הקרקעי וממדי אספקת השירות.

#### 4.1.3 תועלות השירות

לסחיפת הקרקע מספר נזקים לאדם. שכבת הקרקע העליונה של מערכות החבל הים-תיכוני, אלו של החורשים והבתות ושל היערות הנטועים היא הפורייה ביותר ולה גם מגוון ביולוגי עשיר של מיני יצורים זעירים ואחרים, המעורבים באספקת שרותי התמיכה של מיחזור החומרים. שכבה זו היא הפורייה ביותר, והיא נסחפת בקלות וסותמת ומזהמת תשתיות ומקורות מים. בשטחים חקלאיים ובתקופות זמן קצרות דלדול הקרקע לא ניכר היות וניתן לפצות על אובדן הפוריות על-ידי תוספת דשנים ומים, אך ההשפעה ארוכת הטווח היא משמעותית (הדס וחוב', 2009). לשמירה על אופק הקרקע החיוני כמצע לתכסית הצמחית של הקרקע ולשאר רכיבי המגוון הביולוגי שבתכסית זו תועלות נוספות שכן באמצעותם מופקים שירותים נוספים ותועלותיהם, כתמיכה בתהליך/שרות התמיכה של תחזוקת המגוון הביולוגי על ידי המערכות היבשתיות הטבעיות, אלה של החבל הים-תיכוני ואלה של המערכות המדבריות, ולתמיכה בהפקת שרות אספקת מרעית לחיות מקנה האדם. תועלות נוספות כוללות הפחתת נזקי כיסוי בסחף של הגידולים במערכות החקלאיות הנמצאות במורד אגן ההיקוות, שמקורו בסחיפת קרקע במערכות הטבעיות, של החבל הים-תיכוני או של המערכות המדבריות, שהן במעלה אגן הניקוז ולעיתים אף הרחק מהמערכות החקלאיות. בנוסף, כאשר עוצמת זרימת הנגר העילי לא נבלמה על ידי המערכות הטבעיות שבמעלה אגן הניקוז, עוצמה זו עלולה ליצור ניתוק וסחיפה של קרקעות המערכות החקלאיות עצמן, שבמורד אגן הניקוז ולכך משמעות כלכלית גדולה (הדס וחוב', 2009). יתר על כן, גם ללא נזקים לקרקע המערכות החקלאיות מהמערכות הטבעיות שמסביבן, המערכות החקלאיות פגיעות לסחיפה מקומית של הקרקע העליונה והפורייה ביותר שלהן. כך או כך, סחיפת הקרקע במערכות האלה עשויה להביא לפחיתה בפוריות הקרקע החקלאית, תהליך שנודע כ-"הידלדלות הקרקע" או "שחיקת הקרקע" (soil degradation) או (land degradation) שכאשר מתרחש בקרקעות של אזורים המוגדרים כחשופים לאקלים יובשני (drylands) הוא נקרא "מדבור" (desertification). היות וכל שטחי מדינת ישראל חשופים לאקלים זה, ניתן לאמור כי תועלת שרות וויסות סחיפת הקרקע היא מיתון תהליך המדבור של מערכות החבל הים-תיכוני, המדבריות, והחקלאיות של ישראל. בהקשר זה, לשרות וויסות סחיפת הקרקע על ידי מערכותיה האקולוגיות של מדינת

ישראל גם תועלת ברמה המדינית - מימוש התחייבויותיה של ישראל כמדינה חברה באמנת האו"ם למאבק במדבור ברמה הגלובלית ותורמת למאמץ זה (Adeel & Safriel, 2005).

תועלות השרות מתבטאות גם במיתון סחף החול המונע על ידי הרוח שעשוי גם הוא לפגוע במערכות חקלאיות, וגם בתשתיות (דרכים וכד'). במערכות המדבריות הסחף הנע ברוח מהווה אבק שנזקיו רבים ומוכרים. סחיפת מים או רוח של הקרקע העליונה במערכות המדבריות מביאה לפחיתה בפוריות הקרקע, מה שעשוי להביא לצמצום ההפקה של שרות אספקת מרעית למקנה העדרים של בני המגזר הבדואי. סחיפת הקרקע של אזורים הגבוהים של אגני ניקוז, והסעתה באמצעות זרימות עזות לנחלים עשויה לפגוע בשירותים המסופקים לאדם על ידי מערכות מקווי המים הפנים-ארציים, וזאת עקב פגיעה באפיק הזרימה כתוצאה מקריסת גדות, שקיעת חומר קרקעי, פגיעה בצומח מעוצה ועשבוני באפיקים, מה שעשוי להגביר את תהליך סחיפת הקרקע. ולבסוף, סחיפת מצוק הכורכר החופי (מה שנקרא "בליית החופים") עשויה לגרום נזקים באובדן רכוש וסיכון לאדם בחופי המערכות הימיות של הים-התיכון. מכל אלה עולה כי לשרות וויסות סחיפת הקרקע תועלות רבות המסופקות באמצעות רכיבים שונים של המגוון הביולוגי, החל מתכסית קרומי הקרקע הביולוגיים שבמערכות המדבריות והחוליות, דרך עצי ושיחי החורשים שבמערכות החבל הים-תיכוני, וכלה בחלזונות ואצות היוצרים את מעטה המגן של טבלאות הגידוד שבחופי המערכות הימיות של הים התיכון. אך אפשר שרוב הנהנים מתועלות אלה אינו מודע כלל לקיומן ולמקורן משרות וויסות סחף הקרקע המופק על ידי מערכותיה של ישראל.

## 4.2 מצב נוכחי

### 4.2.1 תועלות השרות ותומתן לרכיבים השונים של רווחת האדם

תועלות השרות לאדם הן בעיקר כלכליות בתחום אספקת המוצרים החקלאיים ובתחום משק המים של המדינה: מיתון הנזקים למערכות החקלאיות, הן על ידי מיתון הסעת הסחף וזרמיו אליהן ממערכות אחרות, מיתון הניתוק והסחיפה מהמערכות החקלאיות עצמן על ידי מים ומיתון הניתוק על ידי רוח משפרים את השמירה על החרסיות ועל חומרי ההזנה שבקרקע המערכות החקלאיות (Tanner et al., 2016); ומיתון הסעת סחף למאגרי מים מלאכותיים, מה שמפחית תדירות אירועים של מאגרים הנפרצים עקב מילוי סחף, נסתמים ומאבדים את נפח האגירה שלהם. לתועלות הכלכליות מתווספת תועלת בריאותית ואף אסתטית: אבק שנפלט מהקרקעות במהלך תהליך הסחיפה במים, אך בעיקר בתהליך סחיפת הקרקע באמצעות רוח, עשוי לגרום לסופות חול ואבק ומכאן לזיהום אוויר כתוצאה מעליה בריכוז החומר החלקיקי (PM10) המרחף, מעל לסף המקובל במונחים של איכות האוויר ובריאות האדם (Katra et al., 2014).

אך נראה כי ממדי ההפקה של שרות זה אינן עונות על הביקוש לשרות. משום כך מתבצע על ידי האדם ממשק משמר של מבנה הקרקע (העלאת תכולת החומר האורגני בקרקע הדרוש ליצירת תלכיד קרקע עמידים לסחיפה), ממשק של הגידולים החקלאיים שתכסיתם עשויה למתן את הסעת החומרים שנותקו, ופעילויות ממשק אחרות של ניקוז ושמירת קרקעות חקלאיות ואחרות על ידי האדם. אלו מהוות תחליף טכנולוגי לשרות המערכת, או מתפקדות כסיוע להפקת שרותי המערכות האקולוגיות, של החבל הים-תיכוני ואלה של אזורי המדבר של ישראל ואף של המערכות החקלאיות עצמן. למשל, בתוכנית האב של רשות הניקוז בשור-שקמה מפורטות ההשקעות הנדרשות על מנת לייצר תשתית למניעת סחף ולשיקום נזקים, כאשר העלות הממוצעת לדונם היא 1,341 ₪ (רשות ניקוז בשור-שקמה 2012 בתוך: רוזנטל ופוקס, 2015). כמו כן

נמצא כי שיפור ויסות סחיפת הקרקע על ידי מעבר לממשק חקלאי משמר קרקע (אי פליחה), עשוי למנוע נזקים של 38 שו' לדונם ולשפר את ההכנסות מגידולי החיטה לדונם בכ-20 שו' מגרגרי החיטה ועוד 6 שו' לדונם מקש החיטה (רוזנטל ופוקס, 2015). היות והירידה בפוריות עקב הסחיפה דורשת דישון כימי, התועלת הנובעת משרות וויסות הסחיפה, כאשר הוא מתוגבר על ידי ממשק האדם, מתבטאת כלכלית וגם בריאותית בהפחתת הדישון הכימי. לתועלות אלה מתווספות גם התועלות במיתון סתימת מאגרים ונחלים, ואף במיתון נזקים לתשתיות ועוד (הדס וחוב', 2009).

#### 4.2.2 השיטות לכימות אספקת השרות

ניתן לאמוד את ממדי הסחיפה באמצעות ניטור של: פחיתת עובי הקרקע העליונה בעיקר במערכות החבל הים-תיכוני ובמערכות החקלאיות; "התקדמות" (התחזרות) ערוצי הסחף במערכות המדבריות; שיטות למדידת כמויות החומר האורגני בקרקע; השוואות תכונות הקרקע הכימיות והגיאומורפולוגיות בין אזורים בהם קיים המגוון הביולוגי המעורב באספקת השרות, עם אזורים בהם מגוון זה אינו מתקיים (היינו, השוואת אזורים "טבעיים" עם אזורים תחת רעיית יתר או פעילות קישוש; חופי ים להם מצוק חופי כורכרי שהם מול טבלאות גידוד בהשוואה לאלה שאינם מול טבלאות כאלה וכד'); באמצעות בדיקת כמויות חלקיקי קרקע מרחפים בתוך מי נגר ושיטפונות. לא נמצא מידע מספק על ניטור משמעותי שנעשה בישראל במי מחמש שיטות אלה ושבאמצעותו ניתן לכמת את ממדי אספקת השרות. לעומת זאת מתבצע ניטור של פוריות הקרקע במערכות החקלאיות, המתבטאת בממדי הגידולים השונים. כך גם אפשר שניתן לזהות את חלקו של תהליך הסחיפה בשינויים בהרכב היבולים, ולייחס את השינויים הללו לשינויים שהתרחשו בממדי התכסית הצמחית שבתוך המערכות החקלאיות, ובמערכות אחרות שבאגני הניקוז בהם נמצאות מערכות אלה.

#### 4.2.3 תיאור מרחבי של כימות אספקת השרות, והשוואת האספקה בין המערכות השונות

לצמחייה המכסה את תשתיות הקרקע של המערכות האקולוגיות השונות יש פוטנציאל למיתון ממדי הנגר העילי ובכך להביא להפחתה בפוטנציאל של סחיפת הקרקע. פוטנציאל סחיפת הקרקע ניתן לכימות שכן ישנו מידע על ערכי משתנים סביבתיים של כל אזור ואתר במערכות האקולוגיות היבשתיות של ישראל. משתנים אלה הם: כמויות ועוצמות הגשמים והרוחות; מיקומם של קרקעות השונות זו מזו בתכונותיהן הכימיות והפיזיות ושל המסלע; הטופוגרפיה (מדרונות וממדי תלילותם); טיפוס התכסית הצמחית (הרכב מינים, צפיפות כל אחד, ארכיטקטורת מכלול מיני התכסית ועוד); ושימושי הקרקע של האתר ושל האזור כולו. מכל אלה חשיבות רבה מיוחסת לממדי הגשמים להם מפל ברור מצפון הארץ לדרומה, ממוצע שנתי של כ-1000 מ"מ גשם בצפון אזור האקלים הים-תיכוני ועד לכ-20 מ"מ בקצה הדרומי של אזור האקלים המדברי בואכה אילת. השימוש בערכים הידועים של כל המשתנים הסביבתיים לעיל, אפשר ייצור של מפת פוטנציאל סחיפת הקרקע (מפה 2, אינה כוללת את האזור הדרומי של המערכות המדבריות). ממפה 2 ניתן ללמוד ממפה זו כי באזורים הסחיפה תלויה בשימושי הקרקע, אולי יותר מאשר בממוצע הגשמים. אך יחד עם זאת ניתן ללמוד ממפה זו כי באזורים לחים, בהם התכסית הצמחית מתקיימת לאורך תקופות ארוכות, ממדי הסיכון לסחיפה מתונים בהשוואה לאזורים יבשים. אלה פגיעים יותר כי תכסיתם הצמחית חלקית או דלילה, ובעונות המעבר, סתיו ואביב, פני קרקעות שטחים אלה חשופים מתכסית צמחית אך חשופים לעוצמות גשם גבוהות בפרקי זמן קצרים. במפה זו מידע רב, אלא שלא נעשתה בדיקה מקיפה של מימוש הסיכון, היינו, לא בוצעה הצלבה של סחיפת קרקע שהתרחשה, מול ממדי הסיכון החזוי לה במפה 2. בנוסף, נמצא רק מעט מידע על השוני בממדי הסחיפה שנצפתה אל מול ממדי התכסית הצמחית באגנים מהם נסחפה הקרקע.

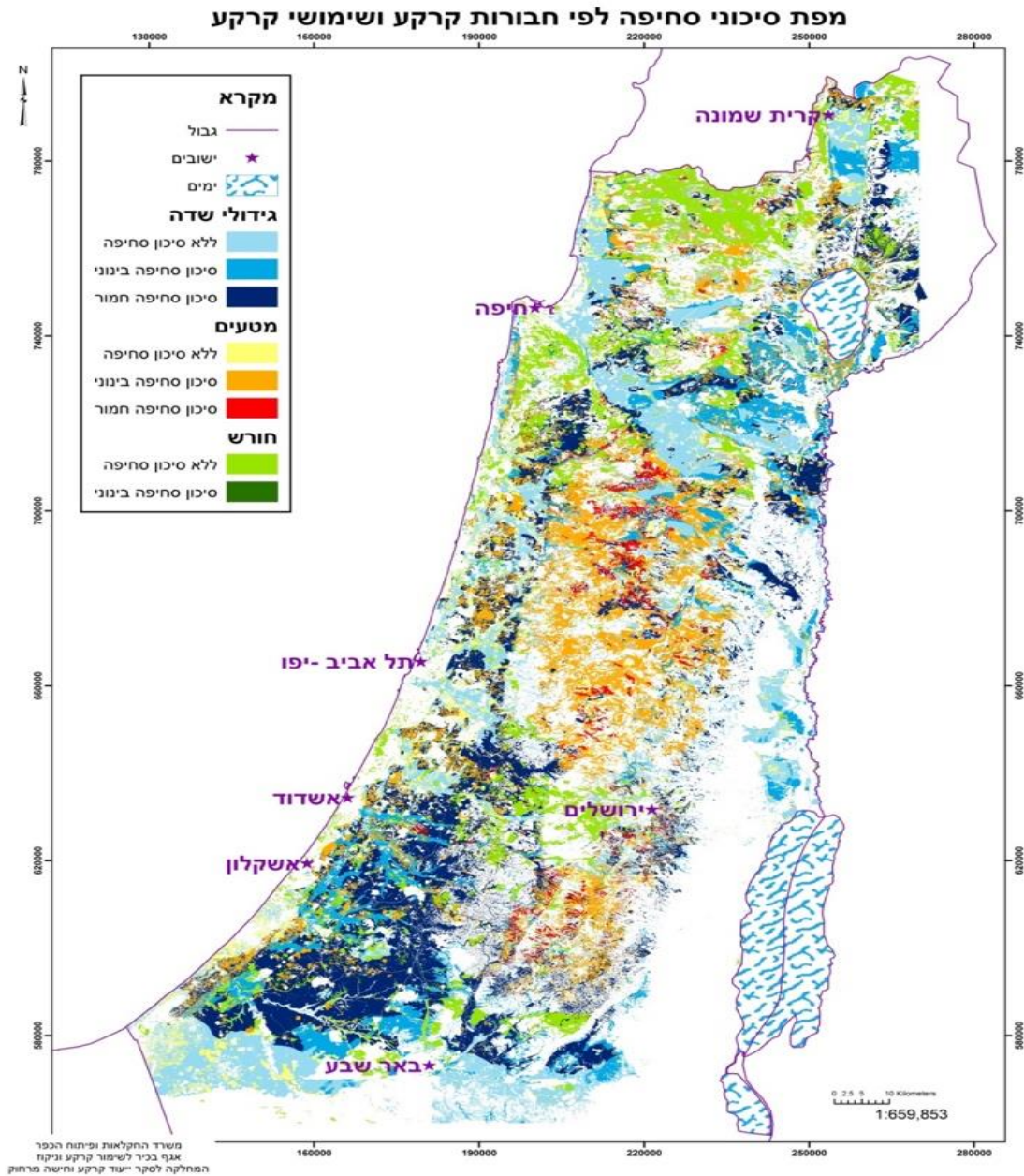
לדוגמה, נמצא שנפחי זרימת נגר עילי מאתרים שבמערכות החורשים והבתות היו נמוכים ב-90% מאלה של מערכות עירוניות וחקלאיות סמוכות, וזאת כאשר למעלה מ-50% של שטחי קרקעות מערכת החורשים והבתות היו בעלות תכסית צמחית (ארגמן וחוב' 2015). שעורי ספיקות אלה שנצפו באירועי שיטפון קיצוניים עשויים להוות אומדן עקיף לוויסות נגר עילי, שהוא הגורם העיקרי לסחיפת קרקע. זאת משום שגם נמצא כי עוצמות נגר עילי משטחי שריפה שהתרחשה באתר של מערכת החורשים והבתות (שריפת הכרמל) היו גבוהות פי 500 מאלה שבאתרים סמוכים שלא נשרפו. בנוסף, נמצא כי ממדי סחיפת הקרקע באותו אתר היו גבוהים פי 100,000 מאלה של האתרים הסמוכים (Inbar et al., 1998). יתר על כן, שנה לאחר השריפה התפתחה תכסית צומח של כ-10 עד 30% כיסוי, ועמה פחת הנגר העילי בכ-80% וכמות הסחף ירדה מ-1200 גרם למ"ר ל-10 גרם בלבד.

גם באתר שבמערכת אזור המעבר (אחת מהמערכות המדבריות) נמצאו ספיקות נגר עילי מקרקע יער נטוע (יער יתיר), שהיו נמוכות פי 500 מאשר ספיקות מאתרים סמוכים של בתה חשופה לרעיית יתר ולחקלאות מסורתית (Shachnovich et al., 2008). כך גם נראה שבאתר זה התכסית הצמחית בלמה את סחיפת הקרקע לחלוטין (Safriel et al., 2010). בנוסף, לקרומי הקרקע הבינוניים שעל פני קרקעות לם וקרקעות חוליות שבמערכות המדבר הצחיח, חלק בוויסות הפיזי של סחיפתן. אך היות וקרומים אלה אטימים למים הם עשויים לייצר נגר עילי העשוי להגביר את הסחיפה. אלא שנמצא כי הקרומים הללו אינם מתפתחים בצל השיחים הפזורים על פני קרקעות אלה, משום שהיצורים הזעירים המייצרים את הקרומים זקוקים לאור השמש (אצות פוטוסינתטיות). כך נוצרים בקרקעות מערכות המדבר הצחיח כתמים נטולי-קרומ, בהם חידור וחלחול המים גבוהים (Yair et al., 2011), מה שממתן את ממדי הנגר העילי שהם יוצרים ותורם למיתון סחיפת קרקעות במערכת המדברית הזו.

תכסיות צומח שיחי ועצי תומכות בהפקת השרות גם במערכות מקווי המים המוטבעות באזורי החבל הים-תיכוני של ישראל, ומעטות מהן אף באזור המדברי של ישראל. צמחיית הגדות של מערכות המים הפנים-ארציים מספקת הגנה מסחיפת קרקע הגדות, בעיקר של מערכות הנחלים. למשל, נמצא שעצים הנטועים בצפיפות באפיק נחל קיני הם בעלי מקדם חספוס גבוה שמאט את מהירות זרימת השיטפון ביותר מפי 2 ובכך מקטין את סחיפת הגדות ותורם לייצוב האפיק (גטקר ומאיר, 2008). ההגנה על הגדות תומכת בכושר הולכת מי מערכת הנחל, מה שתורם לוויסות ספיקות השיא במורד הנחל ומיתון בשיעור ההצפות המקומיות והסעת הסחף למערכות אחרות.

המערכות החקלאיות המוטבעות גם כן בעיקר בחבל הים-תיכוני אך גם באזור המדברי של ישראל, מפיקות גם הן את שירות וויסות סחיפת הקרקע שלהן, אך נמצא כי כ-91% משטחי מערכות אלה נמצאים בסכנת סחיפה של קרקעותיהן. שני סקרי קרקע שבוצעו בקנה המידה הארצי של הקרקעות החקלאיות זיהו מגמת פחיתה בעומק/עובי הקרקע בסדר גודל של 20 ס"מ במוצע בין השנים 1951-1952 ועד לשנת 2000, וזאת באותן יחידות מיפוי של שני הסקרים. כך גם נמצאו מערכות חקלאיות שעובי הקרקע המעובדת בהם היה רדוד עד כדי חשיפת סלעי התשתית, וגם כאלה שיצאו ממעגל העיבוד (זיידנברג, 2013), עם זאת, אין מידע על התרומה היחסית של תכסית הגידולים למיתון אבדני הקרקע שנצפו והוערכו, למעט התובנה שמערכות המטעים על המגוון הביולוגי העצי שלהם עשויות לספק שרות זה (9% משטחם של המטעים נמצאים בסכנת סחיפה חמורה) מאשר מערכות הגד"ש (42% משטחן בסכנת סחיפה חמורה). לצד זאת, קיים ידע על התרומה של ממשקי עיבוד משמרי קרקע העשויים לתפקד כתחליפים טכנולוגיים לשירותי המערכות האקולוגיות או

כמגבירים את הפקת שירותים אלה. אלה כוללים חיפוי קרקע בחומר צמחי, הימנעות מפליחת הקרקע על-ידי חריש, הקמת תשתיות למניעת הסחף ועוד (הדס וחוב', 2009; בן-חור וחוב', 2006; סבוראי וזיידנברג, 2011; אשל וחוב', 2014).



מפה 2: פוטנציאל סיכוני סחיפה. סיכויי הסחיפה עולים עם הגרדיאנט מצפון לדרום וכן מהמעבר משטחי מערכות חורשים לשטחי מערכות חקלאיות, ובפרט אלו של גידולי שדה (זיידנברג וחוב', 2007).



#### 4.2.4 זיהוי משתמשים בשירות

אנשי המגזר החקלאי, רועי בקר וצאן, וגם שאר תושבי ישראל הנהנים ממכלול שרותי המערכות היבשתיות של ישראל שאספקתם תלויה בקיום תשתית הקרקע שלהן, ואשר סיכון הסחיפה שלה מתמתן באמצעות שרות וויסות סחיפת הקרקע המופק על ידי אותן המערכות עצמן. אלא שהיות וממדי אספקת השרות אינם ידועים, סביר שהמשתמשים בו אינם מודעים לקיומו.

#### 4.3 מגמות באספקת השירות

##### 4.3.1 מצבי עבר באספקת השרות וברכיבי המגוון הביולוגי המעורבים באספקה וזיהוי מגמות

ממדי העבר של הביקוש וההיצע לשרות לא נסקרו, אך הביקוש אמור להיות במגמת עלייה (ממדי סחיפת הקרקע) במהלך כל שנות המדינה, ובמקביל לו ממדי היצע השרות (ממדי התכסית הצמחית של המערכות) במגמת ירידה, בהתאמה.

##### 4.3.2 גורמים מחוללי שינוי באספקת השירות

הגורמים מחוללי השינוי הישירים לירידה בהיצע השרות הם התהליכי ההתמרה של מערכות החבל הים-תיכוני למערכות עירוניות/יישוביות ולמערכות חקלאיות, מה שהקטין וממשיך לצמצם את ממדי מכלול התכסית הצמחית של מערכות החבל הים-תיכוני, המערכות המדבריות, וצומח הגדות של מערכות המים הפנים-ארציים להן פוטנציאל להפקת שרות זה. במקביל, הגדיל תהליך זה את שטחיהן של המערכות החקלאיות שבהן הביקוש לשרות הוא הרב ביותר, בגין ממדי סחיפת הקרקע הגדלים והולכים בשטחי החקלאות המעובדים. גורמים מחוללי שינוי ישיר אלה מונעים על ידי הגורמים העקיפים, הדמוגרפיים, הכלכליים והחברתיים של ישראל. גורם מחולל שינוי ישיר נוסף, המגביר את הביקוש לשרות, הוא הגידול בתדירות אירועי קיצון של שיטפונות ברוב שטחי מדינת ישראל, מה שאמור להעצים גם את ממדי סחיפת הקרקע. גידול זה בתדירות ובעוצמה של אירועי גשם קיצוניים המלווים בשיטפונות קיצוניים מיוחס (מורין וחוב, 2010) לשינויי האקלים הגלובליים. הגידול בביקוש דורש גם גידול בהיצע, העשוי להתממש באמצעות מיתון הגורמים מחוללי השינוי העקיפים. מיתון זה עשוי להביא למניעת התמרות נוספות של מערכותיה האקולוגיות הטבעיות של ישראל ולקידום ממשק שימושי קרקע התומך באספקת שרות וויסות סחיפת הקרקע על ידי מערכות אלה, וזאת באמצעות שמירה על התכסית הצמחית שלהן ועל מבנה והרכב הקרקעות עצמן.

##### 4.3.3 השלכות אפשריות לעתיד

המודעות לחשיבות התכסית הצמחית כממתנת את ממדי השיטפונות וסחיפת הקרקע מתגברת והולכת, ומודעות זו עשויה להביא להגברת הפקת שרות המערכת וצמצום הממשקים התחליפיים לשרות, שהם יעילים, אך גם יקרים.

#### 4.4 פערי מידע וידע

נדרש מענה מחקרי על השאלות הבאות:

- האם אירועי הסחיפה שתועדו תואמים את תחזיות מפת הסיכונים של האגף לשימור קרקע וניקוז?

- מה הקשר בין ממדי מגוון מיני הצומח שבתכסית הצמחית ומגוון יצורי הקרקע ובין ממדי הפקת השרות?
  - מה חלקם של המינים בתכסית הצמחית שהטקסטורה והארכיטקטורה של צמחיהם תורמים לממדי הפקת השרות?
- כמו כן חסר מידע על ממדי הסחיפה ועל ממדי המיתון באמצעות התכסיות הצמחיות השונות, מידע שניתן (ורצוי) לקבל ממערך ניטור ובקרה ארציים.

## 5. האבקה גידולים חקלאיים

### 5.1 כללי

#### 5.1.1 מהות/תיאור השירות

האבקה היא התנועה במרחב של גרגר האבקה מהאיבר הזכרי של הצמח בו נוצר, אל האיבר הנקבי של אותו צמח או צמח אחר, שבעקבותיה מתרחשת הפריה ונוצרים זרעים ופירות. האבקה יכולה להיות אביוטית או ביוטית, כלומר באמצעות וקטורים ביוטים (בעלי חיים). שרותי האבקה על ידי בעל-חיים (הכרחיים לקיום חקלאות ומערכות טבעיות כאחד; כ-88% מכלל הצמחים מכוסי הזרע (angiosperms) דורשים האבקה על-ידי בעלי-חיים על-מנת לייצר פירות וזרעים (Ollerton et al., 2011), והיבול של כ-77% מגידולי החקלאות המרכזיים בעולם, הכוללים את מרבית מיני הפירות, הזרעים והאגוזים, תלוי בהאבקה על-ידי בעלי-חיים (Klein et al., 2007).

#### 5.1.2 המגוון הביולוגי המעורב באספקת השירות

שרותי האבקה מסופקים על-ידי מגוון רחב של בעל-חיים, חולייתנים וחסרי חוליות (Klein et al., 2007). הדבורים (Hymenoptera: Apoidea: Apiformes) הן היצורים המפותחים והחשובים ביותר המספקים האבקה ביוטית בטבע ובחקלאות, הן מבחינת יעילותן והן מבחינת מספר מיני הצמחים התלויים בהן להאבקה (Toole & Raw, 1991). הדבורים הן קבוצה מונופילטית (לכל הדבורים מקור אבולוציוני אחד, אב קדמון משותף) המונה כ-20,000 מינים הנפוצים בכל היבשות, למעט אנטארקטיקה (Michener, 2007). למרות העושר העצום של מיני דבורים הקיים בטבע, עיקר ההאבקה של גידולים חקלאיים ברחבי העולם מתבצעת כיום על-ידי פחות מ-5 מינים קרובים השייכים לסוג – דבורת הדבש (*Apis*) (Delaplane & Meyer, 2000). אולם, כיום חקלאים משתמשים בסוגים נוספים (*non-Apis*), כמו דבורי בומבוס במיוחד בתנאים סגריים בהם דבורי הדבש לא פעילות ועבור האבקה גידולים שדורשים האבקה זמזום (*Buzz pollination*), שחרור גרגרי האבקה מהפרח באמצעות הרעדת הפרח) כדוגמת עגבנייה. הדבורים שבהן משתמשים בישראל לצורך האבקה מסחרית של גידולים חקלאיים הן דבורת הדבש (*Apis mellifera*, זן איטלקי) ובומבוס האדמה (*Bombus terrestris*).

בשל החשיבות העצומה של דבורים לטבע ולחקלאות, הושקע מאמץ מחקרי רב בלימוד הביולוגיה, האקולוגיה, ההתנהגות ושמירת המגוון של הדבורים ולמציאת התנאים האופטימליים לפעילותן (Delaplane & Meyer, 2000; Brown & Paxton, 2009). בשנים האחרונות גוברת ההתעניינות בחברות של דבורי בר הנמצאות בשטחים הטבעיים והחצי-טבעיים הגובלים בשטחי החקלאות ובתרומתן להאבקה של גידולי חקלאות; בהינתן תנאים סביבתיים מתאימים (שדות חקלאיים המנוהלים בממשק "ידידותי לסביבה") חברות אלה יכולות לספק שרות האבקה משמעותי לחקלאות (Garibaldi et al., 2013), להגביר את יציבות אספקת שרות האבקה (Garibaldi et al., 2011), ולספק רשת בטחון למצבים בהם מאביקים מסחריים (כדבורת הדבש) לא מספקים את שרותי האבקה הנדרשים (Winfrey et al., 2007).

אגן הים התיכון, וישראל בפרט, מאופיינים בפאונה עשירה במיוחד של דבורים (O'Toole & Raw 1991). בישראל למעלה מ-1100 מיני דבורים, ומינים חדשים מתגלים עם המשך המחקר. מינים רבים של דבורי בר מבקרים בגידולי חקלאות ותורמים להאבקתם, לעיתים באופן משלים לפעילות דבורי הדבש (Pisanty et al., 2014; Pisanty & Mandelik 2015). בשפלת יהודה נמצאו 254 מינים של דבורי בר במערכות החקלאיות של שקדים, חמניות ואבטיח

לגרעינים ובשטחים הפתוחים הסמוכים עם ירידה בעושר המינים בין השטח הטבעי לתוך השטח החקלאי. המינים העיקריים שנצפו והם גם אלה שביקרו הכי הרבה בפרחי הגידולים החקלאיים משתייכים לשבט ההלקטיני (Halictini). אך רק מין אחד נמצא גם מקנן בתוך השטח החקלאי – *Lasioglossum Malachurum* (Pisanty et al., 2014; Pisanty & Mandelik 2015). לביקורים אלה של דבורי הבר תרומה להאבקה של הגידולים החקלאיים. למשל, בהאבקה האבטיח במערכת חקלאית הסמוכה לשטחי מערכת בתה באותו מחקר בשפלת יהודה נמצאה תרומה משמעותית של 54% עד מעל 100% מצרכי ההאבקה (Pisanty & Mandelik 2015). בעבר, נבחנה אף אפשרות גידולם של דבורי בר משני מינים – *Xylocopa pubescens* ו-*Megachile rotundata* – לצרכי האבקה חקלאית (לופו, Sadeh et al., 2007; 1970). אולם רובו של המחקר על מאביקי הבר בארץ ותפקודי ההאבקה שלהם התמקד בבתי גידול לא חקלאיים. כך למשל, נצפה בשטחים פתוחים בכרמל מגוון גדול של סוגים של דבורי בר, כאשר רוב הפרטים שנצפו היו מהסוגים Halictus ו-Andrena (קיסר ונאמן, 2016), סוגים אשר כוללים גם מינים שמאביקים גידולים חקלאיים. ישנם צמחים מקומיים כמו התאנה והרימון אשר גם כגידולים מסחריים מואבקים באופן טבעי ללא שימוש בדבורים מסחריות. התאנה מואבקת ע"י צרעה זעירה (צירפגית התאנה), ועל אף שבפועל רוב התאנים המסחריות בארץ הן פרטנוקרפיות ומבשילות ללא האבקה, נמצא כי תאנים שכן מאובקות איכותן טובה יותר (Rosianski et al., 2016). הרימון מגודל בארץ אלפי שנים ומואבק עצמית וע"י דבורים גדולות מקומיות, בעיקר דבורי עץ ובומבוס בר, כאשר גם דבורי דבש מבקרות בפרחיו לשם איסוף אבקה, אבל יעילותן בהאבקתו נמוכה (גדי איש-עם, תקשורת אישית).

## 5.2 מצב נוכחי

### 5.2.1 תועלות השרות ותרומתן לרכיבים השונים של רווחת האדם

רוב הפירות והירקות הנדרשים למזון ובריאות האדם נוצרים רק כתוצאה מתהליך ההאבקה. נמצא שהיבול של 39 גידולים חקלאיים, מתוך 57 הגידולים המרכזיים ביותר בדיאטה של האדם, גדל באופן ניכר כאשר הם מואבקים ע"י מאביקים מן החי (Klein et al., 2007). בכמה גידולים נמצא שהאבקה באמצעות בעלי חיים משפרת אף את איכות הפרי מבחינת הרכבו התזונתי (Klatt et al., 2014). בניגוד לדבורים המסחריות, הדורשות טיפול של הדבוראי ותשלום של בעל השטח החקלאי הזקוק להאבקה, ההאבקה המסופקת ע"י דבורי הבר ניתנת למעשה 'בחינם'. בנוסף, המגוון הביולוגי של מאביקי הבר מספק רשת ביטחון למקרה של קריסה פתאומית של המאביקים המסחריים (כמו תופעת ה- CCD Colony Collapse Disorder), כפי שכבר קרה בעבר באזורים שונים בעולם (Winfree et al., 2007).

בישראל ישנם למעלה מ-350 אלף דונם של שטחים חקלאיים שבהם גדלים גידולים הזקוקים להאבקה באמצעות בעלי חיים על-מנת להניב פרי (ארנון דג, מידע שטרם פורסם). מדובר במטעים (כ-200 אלף דונם), בעיקר אבוקדו, שקד ותפוח, ובגידולי שדה (כ-150 אלף דונם), בעיקר אבטיח, מלון וחמנייה (טבלה 1). מרביתה של האבקה גידולים אלה מתבצעת באמצעות דבורי דבש מסחריות שכוורתיהן מוצבות בסמוך לשטח החקלאי בהתאם לעונת הפריחה, וערכה הכולל נאמד בלמעלה מ-2 מיליארד ₪ בשנה על פי ערך הפדיון של הגידולים הללו (ארנון דג, מידע שטרם פורסם; טבלה 1). תחשיב כלכלי שנערך ב-1992 הראה כי ערכה של האבקה הגידולים ע"י דבורת הדבש גבוה פי 45 מערכו הכלכלי של הדבש שיוצר ע"י דבורים אלה (רגב ודג, 1994).

ניתן להעריך מבחינה כלכלית את האבקת הדבורים גם לפי החיסכון שהיא מאפשרת בכוח אדם (בהשוואה להאבקה ידנית). חיסכון שמוערך בארצות הברית בכ-\$25 ליום. בשנת 2014 הוערכה התרומה הכלכלית של שירותי ההאבקה של החרקים, בעיקר דבורי-דבש, לכלכלת ארה"ב ב-24 ביליון דולר – ערך הגבוה בשני סדרי-גודל מהערך הכלכלי של הדבש עצמו (The White House, 2014). הערך הכלכלי הגלובלי של שירותי האבקה לחקלאות הוערך בכ-153 ביליון יורו לשנה (Gallai et al., 2009). בהינתן האבקה מספיקה, כמות ואיכות היבול של הגידולים התלויים בהאבקה עולים; מחקרים הראו על השפעה חיובית של האבקה ביוטית על מספר, משקל, גודל, צורה, ערך תזונתי ואורך חיי מדף של פירות וזרעים של גידולי חקלאות הדורשים האבקה (Free 1993; Eilers et al., 2011; Brittain et al., 2014; Klatt et al., 2014).

טבלה 1: תרומתן של דבורי הדבש לפדיון של הגידולים החקלאיים העיקריים בישראל הזקוקים להאבקה ע"י דבורים (הוכן ע"י ארגון דג ב-2012, בעזרת רפי שטרנליכט, עוזבן חלקית ל-2018 בעזרת אהוד חנוך ומיקי נוי).

הגידול החקלאי	שטח* (דונם)	מספר כוורות נדרש לדונם	מספר כוורות נדרש כולל	פדיון שנתי לגידול* (מיליון ₪)	מידת התלות בהאבקה דבורי דבש (0 - 1)	ערך שנתי המיוחס לדבורי הדבש (מיליון ₪)
<b>מטעים</b>						
אבוקדו	70,000	0.5	35,000	500	0.81	405
שקדים	67,000	0.5	33,500	285	1	285
תפוח	23,700	0.5	11,850	638	0.9	574
שזיף	15,000	0.25	3,750	137	0.9	123
אגס	13,800	0.25	3,450	141	0.9	127
משמש	6,400	0.25	1,600	89	0.9	80
דובדבן חמוץ	3,100	0.33	1,023	30	0.8	24
דובדבן מתוק (גודגדן)	1,000	0.5	500	0.8	0.9	0.7
קיווי	1,700	0.25	425	14	0.81	11

הגידול החקלאי	שטח* (דונם)	מספר כוורות נדרש לדונם	מספר כוורות נדרש כולל	פדיון שנתי לגידול* (מיליון ₪)	מידת התלות בהאבקה דבורי דבש (1 - 0)	ערך שנתי המיוחס לדבורי הדבש (מיליון ₪)
<b>ירקות וגידולי שדה</b>						
אבטיח לגרעינים	85,000	0.07	5,950	104	0.63	66
אבטיח למאכל	10,000	0.25	2,500	182	0.63	115
מלון	21,600	0.33	7,128	121	0.63	76
חמנייה	18,300	0.07	1,281	92	0.9	83
תות שדה	6,300	0.4	2,520	120	0.3	36
פלפל מתוק	5,700	0.4	2,280	200	0.3	60
קישוא	1,120	0.25	280	91	0.63	57
כותנה (זרעים)	3,500	0.66	2,310	30	1	30
בצל (זרעים)	3,000	1	3,000			
<b>סה"כ</b>	<b>356,220</b>					<b>2152.7</b>

\* נתוני השטח והפדיון השנתי מבוססים על נתוני 2012, והשתנו מעט מאז. שטחי האבוקדו והשקדים והפדיון שלהם עודכנו ל-2018.

### 5.2.2. אינדיקטורים לשירות

החנטה ובסופו של דבר מספר הפירות המבשילים לצמח או לשטח חקלאי כלשהו הם המדד הטוב ביותר להיקף ההאבקה וליעילותה (Burkhard et al., 2012). אולם אין אלה בהכרח מדדים ישירים לאספקת השירות, שכן האבקה מתקיימת במגוון צורות כתלות בגידול החקלאי ובממשק שלו, אף בגידולים הזקוקים להאבקה באמצעות בעלי חיים, וגם הבשלת הפירות תלויה בגורמים נוספים. מחקרי שדה שבהם נספרים ביקורים של מאביקים בפרחים ו/או נסקרים קיני הדבורים, ועל פיהם מוערכים המגוון והשפע של מאביקי הבר (Pisanty & Mandelik 2015; קיסר ונאמן 2016), יכולים להעיד

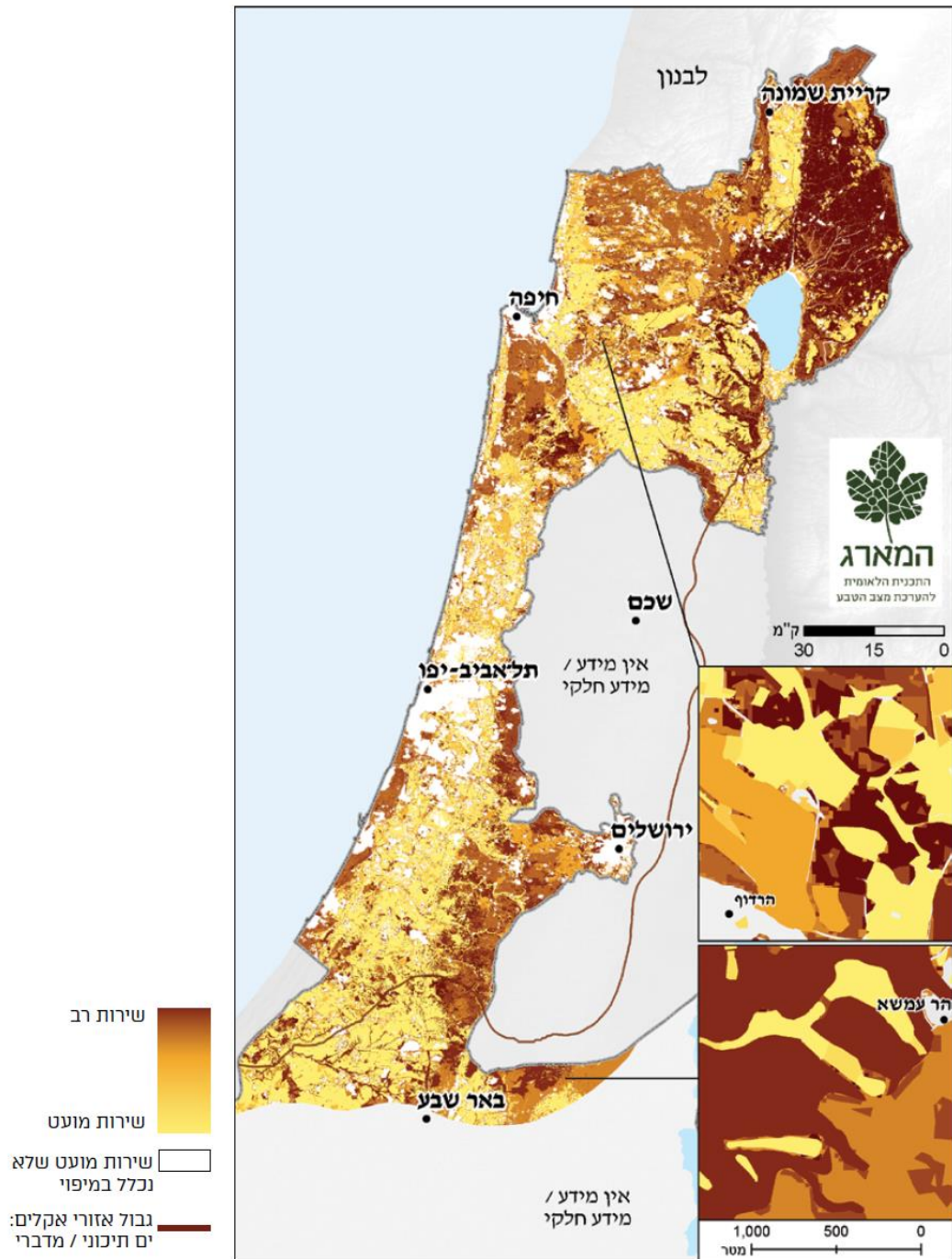
על ממדי השירות, אך אפשריים מבהינת מאמץ הדיגום בשטחים קטנים יחסית. קיסר ונאמן (2016) ממליצים על דיגום של דבורים אוכלות כל (ג'נרליסטיות) בגודל בינוני כדי להעריך את ממדי השירות המסופק משטח כלשהו. ניטור ספציפי של הסוג *Halictus* נותן את האינדיקציה הטובה ביותר למצב אוכלוסיית דבורי הבר, לפחות בכרמל, כיוון שמדובר בסוג נפוץ, כוללני ומקנן קרקע ולכן מושפע משינויים במערכת האקולוגית (קיסר ונאמן 2016).

בהיעדר אינדיקטורים ישירים לאספקת השירות בקנה מידה מרחבי גדול משתמשים באינדיקטורים עקיפים המעידים על התאמה של שטח כזה או אחר להוות בית גידול למאביקי בר ודרך זה ניתן לקבל אומדן לפוטנציאל של מערכות אקולוגיות שונות לספק שירות של האבקה למערכות החקלאיות. מיפוי כזה מתבסס בדרך כלל על מפת שימושי קרקע וכיסוי קרקע (LULC) שאליהם מתווספים מאפיינים נוספים שהם בעלי חשיבות להתבססותם של מאביקי בר (Nogue et al., 2016). לדוגמא, במיפוי של השירות (הפוטנציאלי) בישראל בקנה מידה ארצי (מפה 3, ראה להלן גם בטקסט) כל שימוש קרקע וכיסוי קרקע קיבל ערך דירוגי המעיד על התאמתו להתבססותן של דבורי בר כשהמשתנים שנלקחו בחשבון הם: מגוון ושפע של צמחים פורחים, משך הפריחה, אפשרויות קינון והערכה גסה של מידת השימוש בחומרי הדברה (Lotan et al., 2018).

### 5.2.3 תיאור מרחבי של אספקת השירות

מחקרים רבים הראו על עליה בשירותי האבקה עם העלייה בהיקף ובקרבה של שטחי חקלאות למערכות אקולוגיות טבעיות (Ricketts et al., 2008; Kennedy et al., 2013). גם למורכבות הנוף (Andersson et al., 2013) ולקומפלטיות בין בתי הגידול (Mandelik et al., 2012) השפעה חיובית על מגוון ושפע מאביקים באזורים חקלאיים. השפעה חיובית זו כרוכה במגוון גבוה ובזמינות גבוהה של מקורות מזון ושל אתרי קינון בבתי הגידול הטבעיים ביחס לחקלאיים, במיוחד אלה הנמצאים בממשק אינטנסיבי (Tschardt et al. 2005). עם זאת, קיימים הבדלים ברגישות קבוצות שונות של מאביקים לתנאי בית הגידול ולהשפעות הנגרמות מפעילות אדם בכלל ומפעילות חקלאית בפרט (Williams et al. 2010; Pisanty & Mandelik 2015). המערכות האקולוגיות הטבעיות ואף חלק מהנטועות שבאזור האקלים הים-תיכוני של ישראל כוללות מספר גבוה לאין שיעור של מיני דבורי בר בהשוואה למערכות חקלאיות ולכן הן בעלות הפוטנציאל הגבוה ביותר לאספקת שירות האבקה מן הבר למערכות חקלאיות סמוכות גם במערכות החקלאיות ניתן למצוא מינים מסוימים של דבורי בר, רובם מבקרים לזמן מוגבל אך חלקם מקננים בתוך השטח החקלאי (Pisanty & Mandelik 2015). כתלות בממשק החקלאי בכלל ובזה הנוגע להדברת מזיקים בפרט. גם המערכות הטבעיות נבדלות זו מזו במגוון של מקורות המזון (צוף ואבקת פרחים) ובפריסה העונתית של הפריחה וכן באפשרויות הקינון על צמחים ובקרקע. לכן, קיים הבדל בעושר המינים של דבורי הבר ובשפע שאנו צפויים למצוא במערכות אקולוגיות ובתי גידול שונים ומכאן גם בשירות ההאבקה הפוטנציאלי המתקבל ממערכות אלה (Lotan et al., 2018; מפה 3).

ענף הדבוראות בארץ מחזיק כ-100,000 כוורות דבורי דבש, כאשר רובן הגדול מוצבות באזור האקלים הים-תיכוני ובאזור המעבר (צפון הנגב) (נתוני מועצת הדבש, 2017; ראה איור 19 בפרק שירותי אספקה). עיקר התעופה וביקורי איסוף המזון של דבורי דבש, ולכן גם שירות ההאבקה המסופק על-ידן, מוגבלים לטווח של כ-1500 מ' מהכוורת (Steffan-Dewenter & Kuhn, 2003).



מפה 3: שירות האבקה של גידולים חקלאיים באמצעות דבורי בר על פי פוטנציאל השטחים השונים לתמוך באוכלוסיות של דבורי בר. צבע כהה מעיד על אוכלוסייה פוטנציאלית גדולה של דבורי בר, ועל כן על פוטנציאל לשירות בממדים גדולים. צבע בהיר מעיד על אוכלוסייה פוטנציאלית קטנה של דבורי בר, ועל כן על פוטנציאל לשירות בממדים מוגבלים. המודל מתבסס על מפת שימושי קרקע, על פוטנציאל הקינון בכל שטח ועל הערכת צפיפות המזון וזמינותו במהלך השנה. לא נעשתה הבחנה בתרומה להאבקה בין מינים שונים של דבורי בר. סולם הצבעים קטגוריאלית ולא רציף. המודל נבנה בשיתוף עם יעל מנדליק ובעזרת ארגון דג וגדעון פיזנטי (Lotan et al., 2018).



## 5.3.1 מצב בהווה ומגמות בשנים ועשורים האחרונים

היקפה של הירידה באוכלוסיות מאביקים ובשרותי ההאבקה שהם מספקים שנויה במחלוקת (Ghazoul, 2005). בהתאם, בשנים האחרונות גוברים מאמצי הניטור של אוכלוסיות וחברות של מאביקי בר ומאביקים מסחריים (Lebuhn et al., 2013). ירידות משמעותיות באוכלוסיות דבורי דבש מסחריות נמצאו בצפון אמריקה ובאירופה בעשור האחרון (vanEngelsdorp & Meixner, 2010; Potts et al., 2010), בהקשר לתופעת קריסת המושבות (Colony Collapse Disorder CCD; Stokstad, 2007). מצבן של אוכלוסיות דבורי בר ידוע הרבה פחות, בעיקר בשל מיעוט (ובמקרים רבים מחסור מוחלט) בניטור ארוך טווח ובנתונים היסטוריים מהימנים. מחקרים בצפון אמריקה ובאירופה הצביעו על ירידה מתמשכת בעושר מיני הדבורים במאה האחרונה ושינוי משמעותי בהרכב המינים (בצפון אמריקה) (Biesmeijer et al., 2013; Bartomeus et al., 2013; Carvalheiro et al., 2013). מספר מיני בומבוסים קרובים להכחדה בארה"ב, מסיבות שטרם הובררו (Bartomeus et al., 2013). אולם, למרות ממצאים אלה על ירידות באוכלוסיות המאביקים, לא נמצא מחסור רחב היקף בהאבקה חקלאית כיום (Aizen et al., 2008). עם זאת, קיימים מקרים של מחסור בהאבקה (Richards, 2001) ומחירי השכרת כוורת דבורי דבש מאמירים (Bauer & Wing, 2010). בנוסף, נמצאה עלייה בהיקף גידולי החקלאות הדורשים האבקה ברמה הגלובלית, ועימם הדרישה להאבקה חקלאית ברמה הגלובלית (Aizen & Harder, 2009).

בארץ, החל בשנים האחרונות ניטור ותיעוד שיטתי של אובדן כוורת דבורי דבש (Soroker et al., 2011). לא קיים ניטור שיטתי או מסדי נתונים ארוכי טווח אודות שינויים בשפע, עושר או הרכב מאביקי בר בארץ.

## 5.3.2 גורמים מחוללי שינוי באספקת השירות

ברחבי העולם שינויים בשימושי קרקע הגורמים להתמרת מערכות טבעיות לשטחי מערכות עירוניות וחקלאיות ולקטועם של השטחים הטבעיים הנותרים מהווים את הגורם מחולל השינוי העיקרי במגוון ובשפע המאביקים הטבעיים, כאשר לרוב מדובר בהשפעה שלילית, בעיקר במצבים שהשטח שעבר התמרה גדול או כבר מותמר זמן רב (Winfree et al., 2009). בנוסף, אינטנסיפיקציה של הממשק החקלאי, ובמיוחד השימוש הנרחב בקוטלי חרקים מסוגים מסוימים כניאוניקוטינואידים, פוגעים באופן משמעותי בדבורים (Gill et al., 2012; Henry et al., 2012). איום נוסף על המאביקים מן הבר הוא השימוש הנרחב במאביקים מסחריים בחקלאות, חלקם מינים זרים למערכת, הגורם לעיתים להפצה של מחלות ומזיקים, כמו גם לתחרות על משאבי מזון מוגבלים. גם שינויי אקלים עלולים לפגוע הן באוכלוסיות של מאביקי הבר ובאינטרקציות שביניהם, וכתוצאה מכך גם בשרות ההאבקה שהם מספקים (Schweiger et al., 2010).

אותם הגורמים מחוללי השינוי העיקריים באספקת שרות האבקה הפועלים מחוץ לישראל צפויים לפעול גם בישראל. ואמנם, נמצא בישראל כי תנועת דבורי בר בין בתי גידול טבעיים באזור מקוטע מוגבלת, גם כאשר המרחק בין בתי הגידול הללו קטן (Dorchin et al., 2013). פעילות דבורי דבש (הזן המסחרי שהינו מיובא) בבתי גידול טבעיים, הרחבת תחום התפוצה של בומבוס האדמה (*B. terrestris*) וכן פלישת דבורת הדבש הננסית (*Apis florea*) בדרום הארץ גורמים לתחרות מוגברת עם מיני הדבורים המקומיות על המזון (Dafni & Shmida, 1996; Shavit et al., 2009; Moritz et al., 2010). תחרות זו פוגעת במיני דבורים מקומיות ויתכנו לה השפעות אקולוגיות בעלות השלכות כלכליות

(Fleischer et al., 2013). כך, למשל, נעלם הזן המקומי של דבורת הדבש בעקבות גידול מסחרי אינטנסיבי של הזן האיטלקי המשמש גם היום להאבקה מסחרית ולייצור דבש בישראל (דורצ'ין, 2017).

#### 5.4. פערי ידע

פערי הידע המרכזיים בנוגע לשרות האבקה בישראל הם:

- הבדלים גיאוגרפיים ושינויים לאורך זמן בעושר, שפע והרכב חברות מאביקי הבר.
- איזה מינים מבין מאביקי הבר תורמים להאבקה של גידולים חקלאיים שונים באזורים גאוגרפיים שונים, ומידת תרומתם להאבקה זו באופן אבסולוטי וביחס לדבורים המסחריות.
- הגורמים המרכזיים המאיימים על מאביקי הבר, וממדי ההשפעה של כל גורם כזה בטווח המידי ובטווח הרחוק.
- השפעות ממשקי חקלאות על פעילות מאביקי בר (בעיקר שיחור מזון וקינון) בתוך השטחים החקלאיים ובשטחים הטבעיים הסמוכים להם, ובאיזה תנאים מאביקים מן הבר מאכלסים ופועלים בתוך המערכות החקלאיות.

## 6. ויסות מזיקים בחקלאות ומטרדים לאדם

### 6.1 כללי

#### 6.1.1 מהות השירות

מגוון גדול של בעלי חיים פוגעים בגידולים חקלאיים או מהווים מטרד לאדם. מפגעים אלה מוכרים היטב בחקלאות כיוון שעם הגידול בשטחים המעובדים בישראל, כמו גם בעולם כולו, יחד עם העלייה באינטנסיביות של הממשק החקלאי ובכלל זה העיבוד המונוקולטורי (שטחים נרחבים של גידול יחיד), עולה פוטנציאל הנזק של המזיקים השונים לגידולי החקלאות. מגוון של יצורים החיים במערכות האקולוגיות הטבעיות וכן כאלה הנמצאים בתוך המערכת החקלאית, מהווים אויבים טבעיים לאותם מזיקים ומסוגלים להקטין את אוכלוסיות המזיקים באופן טבעי או בעידוד של האדם בשיטות של הדברה ביולוגית. מוכרים גם אויבים טבעיים אשר מסוגלים למתן אוכלוסיות של מטרדים שונים לאדם, כמו זבובים ויתושים. פעילות ההדברה של יצורים אלה יכולה להחליף את השימוש בחומרי הדברה ובכל זאת להפחית את הנזק הישיר לאדם או ליבולים ואת הנזק העקיף של ההדברה הכימית למערכת האקולוגית. לצד אלה שירות זה יכול להקטין גם את הפגיעה הכלכלית בחקלאים.

#### 6.1.2 המגוון הביולוגי והמנגנון

מינים רבים של פרוקי רגליים – חרקים, עכבישים ואקריות – וכן כמה מיני עופות ויונקים (עטלפים) מוכרים בעולם, ורבים מהם גם בישראל, בזכות יכולתם להקטין אוכלוסיות של מזיקים הפוגעים בגידולים חקלאיים וכאלה המהווים מטרד או נושאים מחלות אדם. רובם הגדול של מינים אלה הם טורפים של מזיקים, בעיקר של חרקים ואקריות, אך גם של מכרסמים, ואחרים הם טפילים של מזיקים ומטרדים. ישנם גם גורמי מחלות (חיידקים, וירוסים ופטריית) הפוגעים במזיקים, אך בגלל הידע המועט בתחום ומורכבות הנושא הם יוצגו כאן בקצרה בלבד.

כמה מינים של **פשפשים טורפים**, **מושיות**, **עינפזיים** ו**חרקים** אחרים מוכרים בישראל כטורפים של כנימות, תריפסים ואקריות צמחוניות-מזיקות. בעוד הפשפשים והמושיות ניזונים על טרפם גם כשהם בדרגות הזחל וגם כבוגרים, העינפז טורף מזיקים רק בדרגות הזחל שלו כאשר הוא מחוסר כנפיים. למשל, במחקר על אויבים טבעיים פוטנציאליים של פסילת האנס *Cacopsylla bidens*, נמצא כי פשפשים טורפים (Anthocoridae), מושיות (Coccinelidae) ועינפזיים (Chrysopidae) הם כולם טורפים החיים במערכת הטבעית שיכולים להקטין את האוכלוסיות של הכנימה המזיקה במטעי אגסים (Shaltiel & Coll, 2004).

מינים אחדים של **צרעות טפיליות**, קבוצה של חרקים מעופפים, מטילים את ביציהן לתוך או בצמוד לחרקים מזיקים בדרגות התפתחות שונות, לעתים בתוספת מנה משתקת למזיק. הצרעות שבוקעות מביצים אלה ניזונות מגופם של החרקים המוטפלים (פונדקאים) וכך הורגות אותם ומקטינות את אוכלוסייתם. בישראל מוכרים מספר מינים מקומיים של צרעות טפיליות הפוגעות במזיקי חקלאות במגוון גידולים, כגון פלפל, עגבניות, כותנה (Spodek et al., 2018) ותפוח אדמה (Weintraub 2001). בנוסף, לפחות תשעה מינים של צרעות טפיליות הגדלים בר בישראל פוגעים בזבוב הבית (*Musca domestica*) וכנראה שגם בזבוב השוקיים (*Stomoxys calcitrans*), שני מיני זבובים המהווים מפגע סביבתי, תברואתי וטרינרי במשקי בעלי חיים ובמגורי אדם (חיל וחוב, 2013; Chiel & Kuslitzky, 2016).

מינים שונים של **עכבישים** ידועים בעולם (Riechert & Lockley, 1984; Nyffeler and ; Mestre et al. 2013) וגם בישראל כטורפים של מזיקים בשטחים חקלאיים, בעיקר מינים שונים של כנימות (Sunderland, 2003 Gavish-) חיטה בנגב כוללים עכבישי קרקע כדוגמת הקטועניים (Gnaphosidae), ערסלנים (Linyphiidae) וכדורניים (Theridiidae) (Gavish-Regev et al., 2008). מינים בעלי מחזור חיים יחסית קצר, דוגמת הערסלנים הקטנים, יכולים לקיים שני דורות בשדה וע"י כך לעקוב בזמן ובמרחב אחרי אוכלוסיות של פרוקי רגליים אוכלי צמחים מזיקים.

**אקריות טורפות** מקבוצת ה- phytoseiidae נפוצות במגוון מערכות אקולוגיות בישראל (Swirski & Amitai, 1997). וגם כאן כמו בעולם, כמה מינים הוכיחו את יכולתם להיזון על שורה של מזיקי חקלאות במטעים ובגידולי שדה שהבעייתיים שבהם הן אקריות ובראשן אקריות הקורים (Maoz et al., 2011; Maoz et al., 2014; Lotan, 2011; Palevsky et al., 2009). האקריות הטורפות, שבהיותן חסרות כנפיים הן נעות על פני הצמח בהליכה, מוצצות את נוזלי הגוף של המזיקים או של ביציהם וכך מרסנות את ממדי האוכלוסיות שלהם.

חסר מידע על חלקם של **עטלפים** כמוסתי מזיקים בעולם בכלל ובישראל בפרט, אך כמויות החרקים הרבות הנאכלות ע"י עטלפים הובילו להנחה כי עטלפים יכולים להוות מרכיב חשוב בהדברת מזיקים בחקלאות (Boyles et al., 2011) וייתכן שגם בהדברת יתושים (Reiskind & Wund 2009). מתוך 33 מיני העטלפים החיים בישראל, 32 מינים הינם עטלפי חרקים, אשר ניזונים ממגוון של חרקים ופרוקי רגליים וחלקם שכיחים ביותר, אך האוכלוסיות של מרבית המינים הן קטנות ו-29 מינים מוגדרים בדרגות שונות של סכנת הכחדה (דולב ופרבולוצקי, 2002). במספר עבודות שנערכו בישראל נמצא שהמינים השכיחים בקרבת שטחים חקלאיים הם עטלפון לבן-שולים (*Pipistrellus kuhlii*), אשף מצוי (*Tadarida teniotis*) ועטלפון אירופי (*Pipistrellus*), לצד כ-10 מינים נוספים שפעילותם היתה קטנה (קורין וחוב', 2017; רגב וחוב', 2013; Kahnonitch et al., 2018). נמצא גם שעטלפון לבן שוליים ניזון על הלקטית ורודה (*Pectinophora gossypiella*), מין של עש שהינו מזיק משמעותי בכותנה, כאשר עטלף צעיר צורך כ-65 פרטים לילה ועטלף בוגר כ-180 פרטים (קורין וחוב', 2017). בעולם, קיימים מספר מחקרים המצביעים על התרומה של עטלפים לוויסות אוכלוסיות חרקים ובהם חרקים מזיקים. לדוגמא, הרחקה מבוקרת של עטלפים ממטעי קפה במקסיקו (Williams-Guillén et al., 2008) ובשדות תירס בארצות הברית (Maine & Boyles, 2015) גרמה לעלייה מובהקת של חרקים מזיקים בהשוואה לחלקות ביקורת. ישנו גם מידע על מגוון של משפחות חרקים מהן ניזונים העטלפים, אשר כוללות גם חרקים מזיקים, בהם מזיקי כותנה אשר גודלם יכול לנוע מ-5 - 7 מ"מ (הלקטית ורודה) ועד 19 מ"מ (פרודניה) ואף יותר (Boyles et al., 2011). לגבי הדברת יתושים, על אף שהוצבו תיבות לינה לעטלפים במספר אתרים ורשויות בישראל (למשל: תל-אביב, רמת-גן, נתניה, מ.א. חוף הכרמל), חסר מידע אם הייתה לכך השפעה על אוכלוסיות היתושים במקום. גם בעולם אין די נתונים בנושא זה.

מבין מיני **העופות הדורסים**, הניזונים על בעלי חיים שמהווים מזיקים בחקלאות או במשכנות האדם, **התנשמת** ובאופן חלקי גם **הבז המצוי** הראו את יכולתם לוסת אוכלוסיות של מזיקים (מוטרו 2011; פלג וחוב' 2016). השימוש בתנשמת להדברת מכרסמים בשדות חקלאיים בישראל נעשה בעזרת הצבת תיבות בתוך השדה או בשוליו. תיבות אלה מאוכלסות ע"י זוגות של תנשמות אשר בעונת הקינון ניזונות מהמכרסמים הנמצאים בשדה. גם מיני עופות אחרים, הניזונים על בעלי

חיים שמהווים מזיקים בחקלאות או במשכנות האדם, בעיקר ציפורי שיר אוכלות חרקים, עשויים לוסת את גודל האוכלוסיות של מזיקים אלה ובכך להשפיע על ממדי הנזקים שהם גורמים, אך הידע על כך בארץ ובעולם מוגבל ביותר. לדגי מים מתוקים יכולת לווסת אוכלוסיות של מזיקים החיים במים כמו זחלי יתושים. בישראל חיים שני מינים של דגים טורפים מן הסוג נאוויט (*Aphanius*). דגים אלה ככל הנראה תורמים להקטנת אוכלוסיות של יתושים אולם בגלל נדירותם ורגישותם הגבוהה לשינויים המתרחשים בבתי גידולם השפעתם קטנה. דגי גמבוזיה (*Gambusia affinis*), מין זר לישראל, שיובאו לארץ לפני יותר מתשעים שנה לצורך הדברת זחלי יתושים נמצאים בשימוש גם היום, אך בגלל פגיעתם במערכות אקולוגיות של מקווי מים פנים ארציים הוגדרה הגמבוזיה כמין פולש והשימוש בה הוגבל (גורן ואורטל, 2006). יצורי מים מתוקים נוספים הינם אויבים טבעיים של זחלי יתושים ומטרדים נוספים החיים במקווי המים הפנים-ארציים. אלה כוללים זחלים של חרקי מים טורפים כמו מיני הפשפשים מקבוצת רצי המים (Gerridae) וזחלי שפיריות, וכן קרפדות וצפרדעים. גם חיידק הבאצילוס הישראלי (*Bacillus thuringiensis israelensis*), שהתגלה לפני יותר מארבעים שנה במימי ערוץ של נחל הבשור, מראה יעילות בוויסות אוכלוסיות של מספר מיני יתושים. החיידק מכיל בתוכו רעלן הפוגע בזחלי היתושים כאשר הם ניזונים מהחומר האורגני שבמים (Ben-Dov, 2014). ככלל, במערכת אקולוגית מימית הקרובה למצבה הטבעי (=מעט הפרעות אנושיות), מגוון החי והצומח בה גבוה יותר ומארג המזון שבה שלם יותר, וכתוצאה מכך אוכלוסיית היתושים ממותנת על-ידי יחסי הגומלין הטבעיים שבין היצורים החיים בה (Carver et al., 2015).

## 6.2 מצב נוכחי

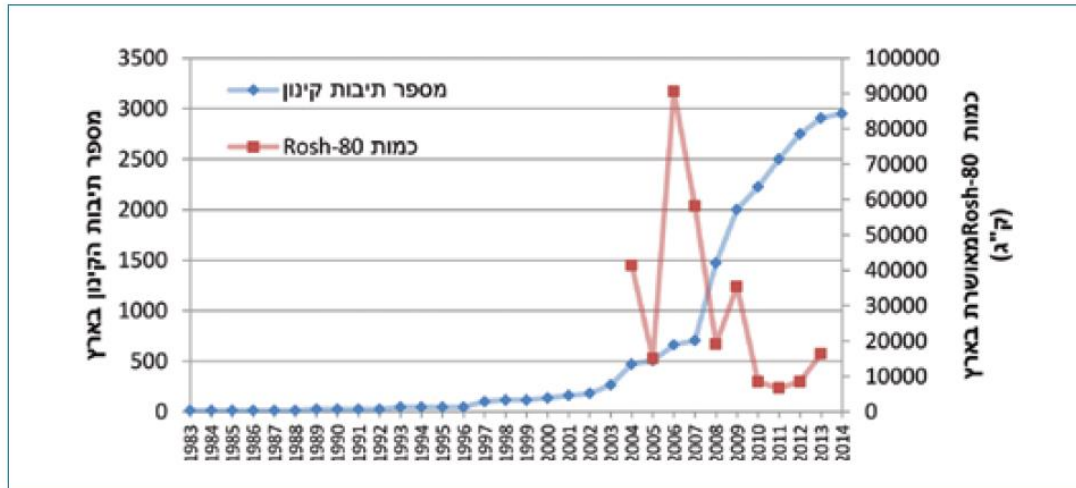
### 6.2.1 תועלות השירות ותרומתן לרווחת האדם

בהדברה של מזיקים, ההסתמכות על אויבים טבעיים, הן כאלה הנמצאים באופן טבעי במערכות החקלאית והעירונית או במערכות הטבעיות הסמוכות להן, והן כאלה המוכנסים למערכת באופן יזום (הדברה ביולוגית), מאפשרת שימוש מופחת בחומרי הדברה כימיים. התועלות הצפויות מהפחתת הריסוסים כוללות חיסכון כלכלי ישיר בגלל הקטנת הרכישה של חומרי הדברה והקטנת הנזק לבריאות האדם והסביבה. בנוסף על אלה, החקלאות יוצאת נשכרת גם בזכות קבלת תוצרת נקיה יותר מכימיקלים ולכן בריאה יותר, ויכולת לעמוד בתקנים מחמירים המקובלים בדרך כלל ביצוא של תוצרת חקלאית לאירופה. יתר על כן, אחת התועלות המשמעותיות לחקלאי מהפחתת השימוש בחומרי הדברה קונבנציונליים היא השימור של מגוון גבוה של יצורים חיים במערכת האקולוגית החקלאית, מה שעשוי לאפשר ויסות של מזיקים נוספים ולאורך זמן, לצד סיכון מסוים הנובע מהמשך קיומה של אוכלוסיית מזיקים.

אין כמעט מידע על התרומה הכלכלית שבהסתמכות על שירות ויסות המזיקים בישראל. הערכה כזו בישראל נעשתה על השימוש בתנשמות להדברת נברן השדה בשדות אספסת במסגרת פרויקט הצבת תיבות הקינון לתנשמות (Motro, 2011). בין השנים 2012-2015 15-40% מהתיבות שהוצבו אוכלסו ע"י תנשמות, כאשר זוג של תנשמות המגדל מספר גוזלים ניזון מ- 2000 – 6000 מכרסמים בשנה (פלג וחוב' 2016). בעבודה שבחנה את הערך הכלכלי של פעילות התנשמות נמצא שנוכחותן בשדות האספסת, והאיום שהפעילו ככל הנראה על הנברנים, היו קשורים בעליה של 3.24% (משקלי)

ביבול האספסת ולתרומה כוללת של כ-3 דולר לדונם לשנה בקיזו הוצאות ההצבה והתחזוקה של תיבות קינון (Motro, 2011).

נזקי המכרסמים מתאפיינים בפגיעה ישירה ביבול, חיגור עצים, אכילת שורשים וזרעים ופגיעה במערכות ההשקיה. ההדברה הקונבנציונלית בגידולי שדה ובמטעים מתבססת על נוגד קרישה (anticoagulants) הקרוי רוש-80, חומר רעיל לאדם ולסביבה (יואב מוטרן, ראיון, 10 בפברואר, 2016). בעקבות השימוש בתנשמות ירד השימוש בחומר זה באופן משמעותי (איור 1).



איור 1: מספר כולל של תיבות קינון לתנשמות (ציר Y שמאלי) ומספר היתרים בשנה לשימוש ברוש-80 (ציר Y ימני). איור: ד"ר יואב מוטרן.

במקרה של תות שדה, נמצא שאין כדאיות כלכלית לפזר פשפש טורף המגודל מסחרית כנגד מין של תריפס המזיק לגידול, כיוון שפשפשים טורפים אחרים המגיעים באופן טבעי לצמחי התות כאשר רמת המזיק בהם עולה, מווסתים באופן מספק את אוכלוסיית המזיק (Coll et al., 2005). בעקבות מסקנה זו עלה מספר המגדלים המשתתפים בתכנית ההדברה המשולבת של תות שדה (שעיקרה הדברה ביולוגית) עד לכיסוי של למעלה מ-80% משטח הגידול של תות-שדה בישראל.

כמה מינים של אויבים טבעיים החיים במערכות האקולוגיות הטבעיות של ישראל נמצאו יעילים ביותר בהדברת מזיקים ולכן נאספו מהבר והם מגודלים באופן מסחרי ונמכרים לחקלאים בארץ ובעולם, כך שיש מהם רווח כלכלי. למשל, בחברות 'ביו-בי' (שדה אליהו) ו'יד מרדכי שירותי האבקה' מגדלים ומשווקים את הפשפש הטורף *Orius laevigatus* להדברה של תריפסים, כנימות עלה, כנימות עש, אקריות וביצי עשים; ואת הצרעה הטפילית *Aphidius colemani* להדברה של כנימות עלה; (אתר ביו-בי, אתר יד מרדכי-שירותי האבקה, המידע משניהם נדלה בדצמבר 2018). לחברת 'ביו-בי' לפחות ששה מוצרי הדברה ביולוגית נוספים המבוססים על מינים החיים בר בישראל. בשני מינים של צרעות טפיליות 'ישראליות' כבר נעשו ניסויים מוצלחים בהדברת זבוב הבית וזבוב השוקיים והחל השימוש המסחרי בהם ברפתות ובלולים בישראל (חיל וחוב, 2013). על בסיס חיידק הבאצילוס הישראלי (BTI) מיוצרים היום בישראל (בחברת 'ביו-דליה' טכנולוגיות מיקרוביאליות) וברחבי העולם תכשירים מסחריים רבים המהווים את חלקו הארי של שוק ההדברה

הביולוגית של יתושים בעולם (Ben-Dov, 2014). בגלל המודעות העולה לחשיבות השימוש בחומרים ידידותיים לאדם ולמערכת האקולוגית, ועל אף שהתכשירים הללו בדרך כלל יקרים יותר מתכשירים כימיים, השימוש בחומר הביולוגי נמצא במגמת עליה.

### 6.2.2 אינדיקטורים לשירות

הערכת שירות ויסות בקרת המזיקים יכולה להיעשות בכמה רמות בהתאם למאפייני המערכת האקולוגית, ליכולת של אנשי המקצוע בזיהוי הטקסונומי של האויבים הטבעיים והמזיקים ולידע הקיים לגבי יחסי הגומלין בין הניזוק-המזיק-האויב הטבעי. בחקלאות, כמות היבול ואיכותו וכן התרומה הכלכלית האבסולוטית הם אינדיקטורים ישירים, והרלוונטיים ביותר לחקלאי, להשפעת האויבים הטבעיים, כיוון שמציגים את השורה התחתונה (מוטרו, 2011). אינדיקטור חשוב נוסף הוא ממדי אוכלוסיית המזיק והדינמיקה שלה במרחב ובזמן בהשפעת האויבים הטבעיים, בין אם הם נמצאים במערכת באופן טבעי ומתגברים בשיטות שונות, ובין אם הם מובאים אל המערכת ומשוחררים בה (Maoz et al., 2011; Lotan, 2011; Argov et al., 2002). לגבי יתושים, האינדיקטור החשוב ביותר הוא גודל האוכלוסייה של היתושים הבוגרים אם כי בדרך כלל אפשר להסתפק בממדי אוכלוסיית הזחלים החיים במים, כיוון שזו ניתנת למדידה באופן מעשי. גם מצב בית הגידול – קרי, שלמות המערכת האקולוגית – יכול להעיד על הפוטנציאל לאספקת השירות. לעתים קרובות, יש קושי גדול להעריך את האינדיקטורים השונים ואז זיהוי כמותי ואיכותי של אויבים טבעיים ספציפיים הנמצאים במערכת או בסמיכות אליה מאפשרים להעריך את הפוטנציאל לקיומו של השירות. ברוב המקרים, בגלל המשמעות הכלכלית של השימוש בשירות ויסות המזיקים או בתחליפיו הכימיים, יש ניסיון לבחון כמה אינדיקטורים ולהראות את הקשר ביניהם, תחום שמפותח ביחס למזיקי חקלאות יותר מאשר לגבי מטרדים ומזיקים אחרים.

### 6.2.3 תיאור מרחבי של אספקת השירות

אויבים טבעיים של מזיקים ניתן למצוא במגוון מערכות אקולוגיות בישראל. מרבית הממצאים שיש בידנו הם מהמערכות החקלאיות, אך ידועה גם נוכחות של אויבים טבעיים במערכות האקולוגיות הטבעיות שביבשה, וככל הנראה גם במערכות ערים ויישובים, אם כי שם יש מחסור גדול בידע. אויבים טבעיים של מזיקי חקלאות אפשר למצוא הן בשטחים הטבעיים של המערכות המדבריות (למשל: Lotan, 2011; Gavish-Regev et al., 2008) והן באלה של מערכות החבל הים-תיכוני (למשל: Shapira et al., 2018; Shaltiel & Coll 2004). לפחות חלק מהמינים הללו מגיעים גם לתוך השטחים החקלאיים ומסוגלים להקטין אוכלוסיות של מזיקים לגידולים, וקבוצה נוספת, קטנה יותר, כוללת מינים המשלימים את מחזור חייהם בתוך השטח החקלאי, בעיקר בגידולים רב-שנתיים.

לדוגמה, הפשפש הטורף, *Anthocoris nemoralis*, נע בין שטחים טבעיים ומטעים וניזון הן מטרף והן מאבקת פרחים (Shaltiel, 2002; Shaltiel & Coll, 2004). גם צרעות טפיליות ועכבישים שנמצאו בשטחים טבעיים של מערכות החבל הים-תיכוני נמצאו גם בתוך כרמי הענבים הסמוכים להם (Shapira et al., 2018). גם עכבישים החיים על הצמחייה המדברית נכנסים לשדות החיטה שבנגב הצפוני וניזונים ממזיקים, כמו כנימות עלה ויתוש הקמה, הנמצאים שם (Gavish-Regev et al., 2008). הפיזור המרחבי של עכבישים בשדות הוא פונקציה של צורת ההגירה שלהם ויכולתם להתרבות בשדה במשך עונת הגידול הקצרה. עכבישי קרקע כדוגמת הקטועניים מהגרים לתוך השדה ע"י הליכה ונמצאים בעיקר בשולי השדה, בזמן שערסלנים וכדורניים מגיעים בהגירה אווירית לכל חלקי השדה בו-זמנית (Gavish-Regev et al., 2008).

2008). מועדי ההגירה גם הם שונים עבור מינים שונים. לדוגמה, בשדות פלחה בנגב המינים הראשונים שמגיעים הם ערסלנים קטנים ורק יותר מאוחר מגיעים מינים אחרים.

אקריות טורפות מאכלסות מטעי אבוקדו והדרים בישראל במשך כל ימות השנה ויש להן תרומה להדברת מזיקים בגידולים הללו (Palevsky et al., 2003). כך למשל, באבוקדו, נפוצה האקרית הטורפת *Euseius scutalis* אשר לצד מיני פשפשים ועינפזים טורפים, שומרת את אוכלוסיית אקרית הקורים של האבוקדו מתחת לסף שדורש טיפול כימי (Maoz et al., 2011). חשוב לציין שבמטעי אבוקדו בישראל מתקיים איזון אקולוגי מסוים המתבטא באוכלוסיות מזיקים שהן יחסית קטנות, מה שמאפשר לגדל אבוקדו תוך שימוש מינורי בחומרי הדברה בהשוואה לגידולים רב-שנתיים אחרים (סבירסקי וחוב', 2002). אקריות טורפות רגישות לחום וליובש ולכן נפוצות יותר בחלקים הצפוניים של ישראל. יחד עם זאת, גם במטעי תמרים בערבה הדרומית ניתן למצוא מספר מינים על העצים ובעשביה הסמוכה ולפחות אחד מהם, *Typhlodromus athiasae*, הראה פוטנציאל להדביר את אקרית הקורים של התמר התוקפת את הפרי (Lotan, 2011). מינים שונים של צרעות טפיליות התוקפות את זבוב הבית חיים באופן טבעי בסביבת רפתות ולולים (היכן שאוכלוסיות הזבובים גדולות) באזורים שונים של ישראל, אולם במרבית המינים נמצאו באזור האקלים הים-תיכוני אוכלוסיות גדולות יותר מאשר באקלים המדברי (Chiel & Kuslitzky, 2016).

עטלפי חרקים מצויים בכל הארץ ומשחרים למזון במגוון רחב של בתי גידול הכוללים חורש, יער נטע אדם, בתי גידול לחים, מקורות מים, מצוקים, אזורים עירוניים ושטחים חקלאיים (Mendelssohn & Yom-Tov, 1999). למעלה מעשרה מינים של עטלפי חרקים נמצאו משחרים למזון בלילות הקיץ בקרבת מטעים, כרמים וגידולי ירקות וגם בחורש שבאזור הדרומי של מערכות החבל הים-תיכוני (Kahnonitch et al., 2018); במטעי תפוחים בגליל העליון ובמערכת הים-תיכונית הסמוכה (רגב וחוב', 2013); וגם בשדות כותנה בשפלת יהודה ובשרון (קורין וחוב', 2017).

הצבת תיבות קינון לתנשמות לצורך עידוד הדברת המכרסמים באמצעותן החלה בשנת 1983 עם הצבת תיבות ראשונות בעמק בית שאן. בהמשך התרחבה הפעילות לאזורים נוספים בעמק הירדן. המיזם הלאומי לשימוש בתנשמות ובזבים כמדבירים ביולוגים בחקלאות הוקם בשנת 2007 ובמסגרתו הוצבו במהלך השנים תיבות קינון לתנשמות גם בעמק החולה, בגולן, בגליל, בנגב המערבי, באזור לכיש, בעמק יזרעאל ובשרון (לשם וחוב', 2014). בכל האזורים הללו התנשמת נמצאת באופן טבעי, והתקנת תיבות קינון בשדות חקלאיים מאפשרת לה אספקת מזון רב בקרבת הקן. בסך הכל עד 2015 הוצבו בשטחים חקלאיים בישראל למעלה מ-3000 תיבות קינון לתנשמות וכ-400 תיבות קינון לבזים מצויים (פלג וחוב' 2016).

למרות תרומתם האפשרית של דגי נאוויט לוויסות אוכלוסיות של יתושים שני המינים החיים בישראל נדירים ונמצאים בסכנה – נאוויט המלחות (סכנת הכחדה חמורה) מוגבלת למעיינות שלאורך חופי ים המלח ונאוויט כחולה נמצאה במקווי מים בגליל ובחוף, אך חסר מידע לגבי תפוצתה המלאה בישראל.



## 6.3. מגמות באספקת השירות

### 6.3.1. מגמות וגורמים מחוללי שינוי באספקת השרות

הגורמים העיקריים שמשפיעים על ממדי השירות או לפחות על הפוטנציאל של אספקתו הם השינוי בשימושי הקרקע, זיהום (כולל העשרה בחומר אורגני והדברה) וניצול יתר של משאבים, אך במערכות שונות ובהיבטים שונים של השירות כל גורם משפיע באופן ובמידה אחרים.

בהיבט החקלאי הגורמים המרכזיים שמחוללים שינוי ישיר באספקת השירות ע"י האויבים הטבעיים של מזיקי חקלאות הם השינוי בשימושי הקרקע ואופיו של הממשק החקלאי. התמרת מערכות טבעיות למערכות חקלאיות וכן הקיטוע הנגרם מהתמרה לא רציפה של השטחים הללו, פוגעים במגוון גדול של אויבים טבעיים החיים בבר ומקטינים בהכרח את הפוטנציאל לאספקת השירות. כך למשל, הפיכת שטחים של המערכות המדבריות בצפון הנגב לשטחים חקלאיים, תוך יצירת קיטוע בין שטחים שנותרו טבעיים, עלולה לפגוע בשירות המסופק ע"י עכבישים המגיעים לשדות מהמערכת המדברית הטבעית (Opatovsky et al., 2010). ממשק חקלאי אינטנסיבי הכולל שימוש בחומרי הדברה כימיים לקטילת חרקים, אקריות, פטריות ועשבים, כאשר רבים מהחומרים הללו אינם פוגעים באופן בלעדי במזיק מסוים, פוגע גם ביצורים המועילים בתוך המערכת החקלאית ואף במערכות האקולוגיות הסמוכות (Weintraub & Horowitz, 1997).

שני גורמים מחוללי שינוי עקיפים משפיעים באופן משמעותי על הממשק החקלאי בהקשר של השימוש בחומרי הדברה – מודעות ורגולציה. בעשורים האחרונים קיימת עליה הדרגתית במודעות של החקלאים ושל הציבור לנזקי ההדברה הכימית ולחשיבותו של שירות ויסות המזיקים באמצעות אויבים טבעיים מהבר או באמצעות הדברה ביולוגית על-ידי שחרור של אויבים טבעיים מסחריים. בנוסף, הרגולציה במדינות אירופה, יעד הייצוא העיקרי של תוצרי המערכות החקלאיות של ישראל, מחייבת את המגדלים לעמוד בתקנים הולכים ומחמירים המגבילים את השימוש במגוון רחב של חומרי הדברה כימיים. מאז 1992 הוצאו משימוש בשוק האירופאי 74% מחומרי ההדברה המשמשים להגנת הצומח (EU-Commission 2009). כתוצאה מכך יש בישראל מגמה של גידול בשטחים שבהם מתנהלת חקלאות אורגנית וגם במסגרת הממשק הקונבנציונאלי נכנסות לשימוש שיטות הדברת מזיקים המתבססות על אויבים טבעיים, וחלקן אף הפכו למקובלות במסגרת תכניות להדברה משולבת (Integrated Pest Management). בחלק מהמקרים מדובר על ממשק חקלאי-סביבתי תומך מגוון ביולוגי, הכולל השארת שטחים פתוחים-טבעיים מסביב לגידולים החקלאיים, שימוש בצמחי כיסוי או צמחי העשרה המספקים מחסה ומקורות מזון לאויבים הטבעיים, והמשך הנטייה להקטנת כמות ותדירות השימוש בחומרי הדברה כימיים בחקלאות.

במקווי המים הפנים ארציים הגורמים העיקריים שמחוללים שינוי באופן ישיר במערכת, ולכן גם בשירות ויסות המזיקים, הם ניצול יתר של משאב המים, שינוי בשימושי הקרקע באגני ההיקוות ובמערכות עצמן ועליה משמעותית בכמות המזהמים שמגיעים למקווי המים (סקוטלסקי ופרלמוטר, 2012). בגלל רגישותם הגבוהה של מקווי המים, לגורמים אלה השפעה מכרעת על תפקודן ולעתים על עצם קיומן של המערכות המימיות הללו וכתוצאה מכך נפגעת באופן משמעותי יכולתן למתן את אוכלוסיותיהן של יתושים ויצורי מים מזיקים אחרים (הרשקוביץ' וחוב', 2013). ידוע מהעולם שבמקווי מים שזוהמו או שעברו העשרה בנוטריינטים (שבדרך כלל קשור בזיהום אורגני) יש סיכוי גבוה יותר למצוא אוכלוסיות גדולות של זחלי יתושים (Carver et al., 2015).

בעשורים האחרונים, בעקבות מהלכי אסדרה וחקיקה, יש עליה בפעולות שיקום של נחלים, הכוללות הפחתה בכמויות השפכים והקולחים המוזרמים אליהם והחזרת המים השפירים לטבע (רט"ג, 2003), מה שמאפשר למערכות האקולוגיות המימיות לתפקד וככל הנראה גם לבקר את אוכלוסיות היתושים. אולם מפעם לפעם עדיין זורמות למקווי מים כמויות גדולות של שפכים, וגם חומרי הדברה – בגלל שימוש בכימיקלים להדברת היתושים או עקב זליגת חומרי הדברה משדות חקלאיים סמוכים – נכנסים למערכות אלה, מה שפוגע ביכולתן לספק את השירות (הרשקוביץ' וחוב', 2013).

#### 6.4. פערי ידע

בכדי להעריך את ממדי השירות בישראל חסרים בעיקר:

- מידע על הרכב האויבים הטבעיים הנמצאים במערכות הטבעיות והנטועות שבסמוך למערכות החקלאיות ואופן התנועה שלהם, אם בכלל, בין השטח הטבעי והשטח החקלאי. מדובר במגוון גדול של קבוצות טקסונומיות שההיכרות עם חלקן קטנה או כמעט ואינה קיימת בישראל.
- באופן דומה חסר בישראל מידע על זהותם ועל יעילותם של אויבים טבעיים של מטרדים וגורמי מחלות כמו יתושים וזבובים. זה כולל את ההשפעה הכמותית של מערכות מימיות מתפקדות על ממדי האוכלוסיות של זחלי יתושים ויצורי מים מטרידים אחרים ואת ממדי השירות בהתייחס לחרקים הבוגרים המעופפים, ובמיוחד את השפעתם של בעלי חוליות אוכלי חרקים (בעיקר עופות ועטלפים) על מזיקים אלה.
- נתונים וניתוחים של הרווח הכלכלי הנשען על אויבים טבעיים המגיעים מן הבר (בניגוד לשחרור אויבים טבעיים מסחריים). בגלל הקשרים החלקיים והמורכבים בין ממדי האוכלוסיות של האויבים הטבעיים והרכבן ובין ממדי האוכלוסיות של המזיקים והיקפי הנזק שהם גורמים, כולל היבטים מרחביים ועתיים, וכיוון שהמשמעות הכלכלית של הנזק לא תמיד ברורה, יש צורך במחקרים מעמיקים וארוכי טווח בנושא.

## 7. ויסות מחלות בחיות משק המועברות ע"י פרוקי רגליים

### 7.1 כללי

#### 7.1.1 תיאור השירות והתועלות הנובעות ממנו

הסביבה בה מוצב מתקן חקלאי לגידול בע"ח כמו גם המתקן עצמו מכילים תנאים להתפתחות פרוקי רגליים מזיקים ומועילים. רפתות, לולים ודירים מהווים בתי גידול לטפילים חיצוניים כגון זבובאים, קרציות, אקריות וכינים. בעוד שהטפילים מהסוג האחרון אינם מושפעים כמעט מהסביבה כיוון שאינם נמצאים אלא על הפונדקאי בעל החיים, זבובאים וקרציות מבלים חלק נכבד ממחזור חייהם ללא הפונדקאי. בעוד שמתקן הגידול עלול להוות סביבה רוויה באתרים מתאימים להתפתחות הטפילים ולקיומם, משערים כי סביבה מאוזנת בקרבת מתקן הגידול כן עשויה לספק שירותי ויסות על כמות פרוקי הרגליים ונוכחותם ובהתאמה על הסיכוי להעביר עמם גורמי מחלה. בתי גידול טבעיים עשויים להכיל מגוון חיות בר העשויות לשאת טפילים ולהוות מאגר לגורמי המחלה וכן אויבים טבעיים לטפילים החיצוניים ובכך להפחית או להעשיר אוכלוסיות פרוקי רגליים הנושאות גורמי מחלה המגיעות מחוץ למתקן הגידול. בנוסף, בעלי חיים רועים משפיעים ומושפעים אף הם מהסביבה בה הם נמצאים ולהרכב הביוטי במרעה תכנן השפעה על הרכב הטפילים החיצוניים ועל התפתחותם של טפילים פנימיים כתלות בתזונה. שירותי ויסות הגורמים להפחתת הטפילים החיצוניים וגורמי המחלה המועברים על ידיהם מועילים הן לבריאות החיה ורווחתה והן לבריאות הסביבה ובטיחות מזון האדם כתוצאה מהפחתת שימוש בחומרי הדברה ותרופות.

#### 7.1.2 המגוון הביולוגי המעורב באספקת השירות

מידע לגבי השפעת מינים בסביבה טבעית קיים בעיקר בהקשר של גידולי צמחים, אולם לא נערך מחקר מסודר הקושר בין חברות המינים בשטחים טבעיים לטפילות או תחלואה במתקני גידול. למגוון המינים והרכבם בסביבה טבעית קיימת השפעה על שמירתם והעברתם של גורמי מחלה, כאשר התיאוריה מנבאת כי מגוון מינים גדול יותר של צמחים ובעלי חיים מוריד את הסיכוי להימצאותם של גורמי מחלה (אפקט הדילול, Schmidt & Ostfeld, 2001). כך לדוגמה בעבודה שנערכה בנגב על מכרסמים נמצא שלמגוון מיני פונדקאים השפעה על חיידקים גורמי מחלות (המועברים ע"י פרוקי רגליים כגון פרעושים וקרציות), לאו דווקא על פי אפקט הדילול, אלא כתלות במבנה המרחבי של האוכלוסייה הנבדקת (Gavish et al., 2014). אף על פי כן משמעותה של עבודה זו בהקשר למחלות של חיות משק לא נבדקה. בעשור האחרון נערכו עבודות המתארות מגוון ושפיעה של זבובאים במתקני גידול המהווים מטרד ומעבירי מחלות לבקר (לדוגמה: Saroya et al. 2021; Kahana-Sutin et al. 2017) ובנוסף נערך סקר על זבוב האורווה (Muller et al., 2011) ובו קיים מידע על הסביבה הטבעית בה נלכדים הזבובים. עדין, עבודות הקושרות בין הסביבה למתקני הגידול חסרות. עבודות העוסקות בקרציות המעבירות מחלות לסוסים נערכו בשנים האחרונות וכן נמצא קשר בין תנאי סביבת המרעה והממשק לאילוח בקרציות ולתחלואה (Tirosh-Levy et al. 2018; Tirosh-Levy et al. 2020).

## 7.2 מצב נוכחי

### 7.2.1 תיאור מרחבי של אספקת השירות

מידע מסודר על מרחבים טבעיים סביב מתקני גידול אינו קיים. ניתן למצוא תצ"א המתארים שטחים חקלאיים וטבעיים סביב מתקני גידול, אולם יש לקחת בחשבון כי טיב הגידולים משתנה במשך ולאורך השנים. גידולים חקלאיים המשתמשים בהשקיה לא מבוקרת עשויים כמו מתקן הגידול עצמו לצור בתי גידול מיטביים עבור טפילים חציוניים. מיפוי של חיות בר העשויות להיות מאגר לגורמי מחלה בשטחים טבעיים וחקלאיים לא קיים, למעט סקרים בודדים על נשאות של גורמי מחלה (Aziz-Boaron et al., 2015). יחסי טפיל פונדקאי עשויים להשתנות בהתאם לתנאים הגיאוגרפיים (Thompson, 1999) ולפיכך תתכן שונות ברמת המטרד והתחלואה באזורים שונים בארץ. בסקר שנערך בשנת 2006 נמצא כי זבובי האורווה נפוצים יותר בדרום הארץ מאשר בצפונה (א. קלמנט, מידע אישי), אך רמת המטרד לא נבדקה ובעבודה שנערכה ב-2012-13 נמצא קשר ישיר בין כמות יחסית של הזבוב ותחלואה בקטרת העור במשקים שבהם התרחשה התפרצות בצפון הארץ (Kahana-Sutin et al. 2017), עובדה שהראתה כי זבוב האורווה עשוי להיות הווקטור המרכזי של מחלה זו בארץ. בנוסף, רמת התחלואה של בקר בקדחת קרציות נמוכה יותר בגליל המערבי (מרעה חורש) מאשר ברמת הגולן (מרעה עשבוני) (שבתאי וחוב', 2011).

### 7.2.2 כימות או הערכה של התועלת לאדם מהשרות

ניתן לכמת את מספר מקרי התחלואה והמטרד לבע"ח ואת ההוצאות הכרוכות בכך כתוצאה מהירידה בתוצרת (Kedmi, Van Straten et al., 2010). כמו כן ניתן להשוות בין מקומות בהן קיים שירות ויסות להוצאות השימוש בחומרי ההדברה ובתרופות. מאחר ואין מחקרים המראים קשר בין סביבה טבעית למטרד ותחלואה ומכיוון שלשימוש בחומרי הדברה ותרופות יש השלכה ישירה על בטיחות המזון, ניתן אולי באופן עקיף להעריך את תרומת השירות לבריאות האדם הצורך מוצרים בטוחים יותר ולפיכך משפיעים על הבריאות.

## 7.3 מגמות

### 7.3.1 מצב בהווה ומגמות בשנים ועשורים האחרונים

חיות משק (בקר וצאן) בארץ סובלות הן ממטרד ישיר הנגרם מעצם הנוכחות של פרוקי הרגליים עצמם (בעל החיים עלול להגיב בתנועתיות יתר ועצבנות ובכך לגרום לירידה בתנובה) והן ממגוון מחלות המועברות ע"י פרוקי רגליים. מחלות אלו כוללות נגיפים המועברים ע"י יבחושים ויתושים כגון מחלת לשון כחולה, קטרת העור, קדחת קיקיונית ומחלה דימומית אפיוזואוטית; כמו כן, טפילי דם כגון בבזיה וטילריה מועברים ע"י מינים שונים של קרציות. משקים רבים מקיימים ממשק הדברה כימי, הן באופן עצמאי והן באופן עקיף ע"י הרשויות המקומיות. מקצת מהמגדלים אף משתמשים בהדברה ביולוגית (באמצעות צרעות טפיליות של זבובים). בנוסף, ממשק בע"ח בארץ השתנה מאז תחילת המאה בעקבות הרפורמה במשק החלב (הפרדת הרפת מהקרקע, מעבר לרפתות גדולות מאוחדות ושינוי בממשק פינוי הזבל) והרפורמה העתידית במשק העופות (התאמה לתקנים אירופאים הכוללים איחוד מטילות בכלובים גדולים). רפורמות אלו משנות את התנאים האקולוגיים להתפתחות פרוקי רגליים במתקני הגידול ויש להן השפעות מקומיות, למשל עליה באילוח של האקרית

האדומה בלולים (י. גוטליב, מידע אישי). מחלת אנדמיות (כגון לשון כחולה) ומחלות מגיחות (כגון קדחת דימומית אפיוזאוטית) מושפעות ממגוון משתנים ביולוגים התלויים בחיה עצמה, בחרק הנושא את גורם המחלה וכן ממשתנים סביבתיים הכוללים גם משתנים מחוץ למתקן הגידול כגון ממשק רוחות (Kedmi, Herziger et al., 2010) והרכב מרעה (שבתאי וחוב', 2011). השפעת הסביבה הטבעית על מגוון פרוקי הרגלים במתקני גידול לא נבדקה בארץ והמידע על השפעות כאלו מגיע באופן עקיף מסקרים גאוגרפים על פרוקי רגליים מעבירי מחלות.

### 7.3.2 גורמים מחוללי שינוי באספקת השירות

מכיוון ששירותי הוויסות של המערכות האקולוגיות בסביבת מתקני גידול של בעלי חיים לא נבדקו, ניתן רק לשער כי אותם גורמים המשפיעים בסביבות טבעיות אחרות הן על מגוון המינים והן על מצב הקרקע המאפשר התפתחות אוכלוסיות של טפילים חיצוניים, עשויים לשנות הן את רמת המטרד והן את התחלואה בתוך אותם מתקני גידול.

### 7.3.3 מבט לעתיד

הפחתת תחלואת חיות משק היא יעד מרכזי הן בתחום רווחת בעלי החיים והן בתחום הכלכלי ורווחת האדם. שינויים במתקני גידול של חיות משק ושינויים סביבתיים כלליים מתרחשים לאורך שנים רבות ובקצב מואץ בשנים האחרונות. לשינויים אלו השפעה על רווחת החיות והאדם, אך הם מוערכים באופן מקומי בלבד. באם קיימים שירותי וויסות, שינויים אלו לא מאפשרים לנטר באופן ברור את כיוון השפעת השירות. הפחתת בתי גידול טבעיים גורמת לירידה במגוון מינים שעלולה להשפיע על עלייתם של גורמי מחלה. שמירתם של בתי גידול טבעיים התומכים בהתפתחות של פרוקי רגליים מעבירי מחלות עלולה אף היא להשפיע על עלייה ברמת המטרד ובסיכוי להעביר מחלות.

## 7.4 פערי מידע

רוב המחקרים שנעשו על וויסות טפילים חיצוניים והמחלות שהם מעבירים נערכו ברמת מתקן הגידול והממשק הנהוג בו. לעיתים מחקרים אלו כוללים סקרים הממפים את סביבתו הביוטית והאביוטית (כולל גורמי אקלים וזיהום אויר) של מתקן הגידול, אולם חסר מידע הקושר בין מערכות אקולוגיות טבעיות ורמת תחלואה במתקני גידול. מלבד זאת חסרים מחקרים בסיסיים הנוגעים להמצאות ולתנועת הטפילים ואויביהם הטבעיים משטח טבעי למתקן גידול חקלאי בכדי להסיק כיצד משפיעה המערכת האקולוגית הטבעית על וויסות מזיקים ומחלות. במרעה לעומת זאת, כן קיימת השפעה ישירה להרכב הביוטי על התחלואה, אך קיים מידע מועט מאוד לגבי השפעת סוג המרעה על מגוון ונוכחות פרוקי הרגליים המעבירים את המחלות. בנוסף, שטחי מרעה אינם מייצגים מערכת אקולוגית טבעית, וחסר מידע לגבי השפעתה של סביבה טבעית על טפילים חיצוניים ואויביהם הטבעיים המגיעים למרעה.

## 8. ויסות איכות האוויר

### 8.1 כללי

#### 8.1.1 תיאור השירות והתועלות הנובעות ממנו

הצמחייה קולטת מגוון רחב של מזהמים, דרך פיוניות בעלים או על ידי ספיחתם על פני שטח העלים, ועל ידי כך מפחיתה את ריכוזם באוויר. שני סוגי מזהמי האוויר אשר להם ההשפעות הבריאותיות השליליות הרבות ביותר ואשר קליטתם על ידי צמחיה מגלמת את הרווח הכלכלי הרב ביותר, הם הגזים אוזון וחלקיקים נשימים כאבק.

**אוזון Ozone** – שכבת האוזון באטמוספירה, בגובה של 10-50 ק"מ מעל פני הקרקע, חשובה לחסימה של קרינה אולטרה-סגולה (UV) ומגינה על החי והצומח. אך בגובה נמוך מהווה האוזון מזהם מסוכן, שחשיפה אליו עלולה לגרום לשורה ארוכה של בעיות בריאות, ובעיקר פגיעה במערכת הנשימה ובמערכת כלי-הדם שמלוות בירידה בתוחלת החיים (המשרד להגנת הסביבה, 2014; EPA, 2018). בנוסף, פוגע האוזון בתנובה של גידולים חקלאיים (פחיתת היבול החקלאי העולמית הנובעת מאוזון מוערכת בשווי של כ- 11-26 מיליארד דולר בשנה (Mills & Harmens, 2011), ומחמצן מתכות ופולימרים כגון גומי, צבעים וחומרי ציפוי שונים (Lee et al., 1996; Oesch & Faller, 1997).

אוזון הוא מזהם האוויר הגזי המשמעותי ביותר באגן המזרחי של הים התיכון ובישראל בפרט, בשל תנאי האקלים החם והיבש בשילוב עם הצפיפות הגבוהה של תעשייה וכלי הרכב (Lelieveld et al., 2002; Kalogridis et al., 2014). לאורך מישור החוף והשפלה הפנימי, מאזור שדרות בדרום ועד צפונית לחדרה, ישנם ריכוזים נמוכים יחסית של אוזון ואילו ככול שנעים מזרחה ודרומה מחוף הים התיכון עולים הריכוזים (קורדובה-ביז'ונר, 2016). זאת מאחר והאוזון נוצר בתהליך פוטוכימי<sup>4</sup> בתוך גושי אויר המכילים ריכוזים גבוהים יחסית של תחמוצות חנקן ותרכובות אורגניות נדיפות (VOCs), המוסעים מחוף הים לפני הארץ. כך למשל, VOCs ותחמוצות החנקן הנפלטות בעיקר באזור תל-אביב והמרכז, כתוצאה מפעילות אנושית (בעיקר של שימוש בדלק ושריפתו לייצור אנרגיה בתעשייה, בתחנות כוח ובתחבורה), מובילים ליצירת אוזון מקסימלית במורד הרוח- בפנים הארץ ואף מעל עבר הירדן. אי לכך מוצאים בארץ את ריכוזי האוזון המרביים באזורים שונים בבית שאן ובגב ההר (החל מהשומרון בצפון, המשך בהרי יהודה וכלה דרומה מבאר שבע) (לוריא וחובי, 2011). רמת האוזון משתנה מאוד מיום ליום, אך ככלל הריכוזים המקסימליים נרשמים בעונות המעבר ובקיץ, בפרט בימים בהם הטמפרטורות גבוהות יותר (קורדובה-ביז'ונר, 2016).

נוכחות צמחייה יכולה להשפיע באופן משמעותי על ריכוזי האוזון בשני אופנים הפוכים, כתלות בסקלה המרחבית ובהרכב האטמוספירה:

1. הפחתת ריכוזי אוזון בסקלה מקומית: נוכחות צמחים יכולה להוביל להפחתה בריכוזי האוזון בשתי דרכים מרכזיות:

<sup>4</sup> תהליך פוטוכימי- האוזון נוצר בתוך האטמוספירה בתהליך פוטוכימי שבו מתרחשת תגובה כימית בהשפעת השמש בין תחמוצות הפחמן לבין התרכובות האורגניות הנדיפות (VOCs).

(א) האוזון הטרופוספרי נקלט בעלי הצמחים באמצעות הפיוניות שלהם ועם היקלטו בגוף הצמח הוא מתפרק לכימיקלים אחרים שביניהם כאלה הפוגעים בצמח עצמו. אך כיוון שהאוזון שנקלט התפרק, אין הוא מוחזר לאוויר, ולפיכך צמחיה מהווה שרות וויסות של ריכוז האוזון הטרופוספרי באוויר.

(ב) לצמחים יכולת לשחרר תרכובות אורגניות נדיפות ביוגניות (BVOCs), אשר בסקאלה מקומית יפעלו להגיב עם האוזון ולהפחית את ריכוזו.

בנוסף, היות ויעילות הייצור של אוזון הינה קורלטיבית עם הטמפרטורה ועומדת ביחס הפוך ללחות היחסית, סביר שריכוזי האוזון בקרבת צמחיה נוטים להיות נמוכים יותר, בשל הנטייה לטמפרטורות נמוכות יותר והלחות היחסית הגבוהה יותר האופייניים לאזורים צמחיים, בשל תהליך הדיות של הצמח. יש לכמת את השפעת מנגנון זה באמצעות מחקר נוסף, במיוחד על רקע חשיבותו הפוטנציאלית בהתחשב בתופעת אי החום העירוני.

2. *הגדלת ריכוזי אוזון בסקלה אזורית:* נוכחות צמחיה עשויה להגדיל את ריכוזי האוזון בסקלה אזורית, באמצעות פליטת תרכובות אורגניות נדיפות ביוגניות (BVOCs). לפי הערכה מבוססת, התרומה של תרכובות אורגניות נדיפות ממקור ביוגני מוערכת כיום בעד כדי 90% מסך התרכובות האורגניות על פני סקלה גלובלית (Guenther et al., 1995). קצב פליטת VOCs מצמחיה נוטה לעלות באופן חד עם הטמפרטורה, הקרינה ופוטנציאל החמצון באטמוספירה (נקבעת במידה רבה על ידי ריכוזי האוזון) ולפיכך פליטתן באזור ים תיכוני ומזוהם כגון ישראל נוטה להיות גבוה במיוחד. ואכן, במחקר שהתמקד ביצירת אוזון באזורים ים תיכוניים נמצא שפליטה של BVOCs הינה בעלת השפעה רבה יותר על ריכוזי האוזון בהשוואה לפליטה של VOCs ממקור אנתרופוגני (Richards et al., 2013).

**חלקיקים Particulate Matter** – חלקיקים זעירים באטמוספירה בעלי קוטר קטן יותר משל  $10\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{10}$ ) המוגדרים כחלקיקים נשימים, ובמיוחד אלו בעלי קוטר קטן משל  $2.5\mu\text{m}$  ( $\text{PM}_{2.5}$ ) היכולים לחדור לעומק מערכת הנשימה והריאות (לוריא וחוב', 2011; DOE, 1995; QUARG, 1996), נחשבים למזהם האוויר המשמעותי ביותר מבחינת השפעתם הבריאותית (המשרד להגנת הסביבה, 2014). מנתונים של ארגון הבריאות העולמי עולה שבשנת 2012 חלקיקים זעירים אלו גרמו לתחלואה ולתמותה בטרם עת של 3.7 מיליון בני אדם בערים ובכפרים ברחבי העולם (WHO, 2018). התמותה מחלקיקים נשימים קשורה בגרימת בעיות קרדיוסקולריות, בעיות נשימתיות שונות וסרטן (WHO, 2018). מקור חלקיקים זעירים אלו הינו בעיקר ממקורות זיהום אנתרופוגניים, להבדיל מחלקיקים טבעיים שעל פי רוב גדולים יותר (קורדובה-ביז'ונר, 2016; DOE, 1995). סיבה נוספת להיותם של החלקיקים האנתרופוגניים מסוכנים לבריאות קשורה בנטייה שלהם לספוח רעלנים דוגמת מתכות כבדות כאשר הם מצויים בסביבת גזים הנפלטים ממקורות זיהום שונים (Ruijgrok et al., 1996). נוסף על הבעיות הבריאותיות המוזכרות לעיל, חלקיקים ממקורות זיהום אנתרופוגניים נוטים להפחית ולהשהות את כמויות המשקעים באמצעות שינוי התכונות המיקרופיסקליות של עננים (Rosenfeld et al., 2008), וכן להשפיע לרעה על האקוסיסטמה על ידי העלאת רמת החומציות, שינוי ההרכב הכימי והפרת המהלך הטבעי של מחזור הנוטריינטים באקוסיסטמה (Ruijgrok et al., 1996).

למרות שחלקיקים רבים ימצאו את דרכם חזרה לאטמוספירה באמצעות תהליכים שונים, היכולת של צמחים לקלוט חלקיקים מהאוויר שסביבם מאפשרת להפחית את ריכוזם באוויר.

### 8.1.2. המגוון הביולוגי המעורב באספקת השירות

צמחים מסוגים שונים מפחיתים באופן שונה את מידת זיהום האוויר, כתלות במאפייניהם (Janhall, 2015), בתנאי הסביבה ובעיקר בתנאי האקלים. צמחים שעירים, מחוספסים ובעלי שטח עלווה גדול, המאפשרים חידור חלקיקים אל תוך חופת הצמח יאפשרו הרחקת חלקיקים יעילה יותר (Beckett, 1998; Janhall, 2015). ואילו סוגי עצים שונים כגון צפצפה ומינים שונים של אלונים ידועים כייעילים במיוחד בהרחקת אוזון באמצעות פליטת BVOCs.

לפי מחקרים, יעילות הרחקת זיהום האוויר מושפעת גם מגיל ותפקוד בריא של הצמחייה. ככלל, עצים בוגרים קולטים יותר מזהמים, במצטבר, מעצים צעירים. וכן, עצים גדולים ובריאים בעלי קוטר גדול מ 77 ס"מ הינם בעלי כושר הרחקת זיהום אוויר פי 70 (1.4 ק"ג/שנה) בהשוואה לעצים בריאים בעלי קוטר קטן מ 8 ס"מ (0.02 ק"ג/שנה). זאת ועוד עצים עם עלים קטנים קולטים יותר מזהמים מעצים עם עלים גדולים, בגלל שבעלים קטנים יחס שטח פנים לנפח גדול יותר. למשל, מחטי אורן לעומת עלים של אלון מצוי. בנוסף, נמצא כי עצים נשירים קולטים יותר מזהמי אוויר בהשוואה לעצים ירוקי עד דומים, בגלל פעילות מואצת מאוד בעונת הצימוח ושטח פנים גדול של העלה.

יש לציין שגם רכיבים אחרים של התכסית הצמחית וקרומי-קרקע ביולוגיים (חזויות, אצות ופטיות בקרקע) קולטים אבק ומזהמי-אוויר. קרומי-קרקע ביולוגיים לדוגמה, קולטים עד כ- 277 ג' אבק למ"ר בשנה, וכושר קליטה זה פוחת ככל שהקרומ נפגע (Zaady & Offer, 2010).

## 8.2. מצב נוכחי

### 8.2.1. תיאור מרחבי של אספקת השירות

הן יערות והן שדות חקלאיים נוטים להפחית את רמת זיהום האוויר. כפי שמוסבר בסעיפים הבאים, קיימת חשיבות להתאמת מין הצמח ומיקומו ביחס לגורם עליו יש לגונן מפני זיהום האוויר. היות והתרומה הגבוהה ביותר של הצמחייה להפחתת זיהום אוויר מתבצעת בקרבתה, חשוב שהצמחייה תמוקם קרוב לריכוזי אוכלוסייה ומקורות זיהום אוויר (Beckett, 1998; Janhall, 2015). זו אחת הסיבות לכך שכיום שותלים צמחייה באזורים עירוניים (Andersson-Skold et al., 2015).

### 8.2.2. כימות או הערכה של התועלת לאדם מהשירות

קיימת תועלת בריאותית רבה לבני אדם מקיום צמחייה המפחיתה את זיהום אוויר, בפרט באזורים עירוניים ובאזורים מועדות בעלות בעיות נשימתיות כגון תגובות אלרגיות לחלקיקים (אסטמה ותופעות אחרות) ומחלת ריאות חסימתית כרונית (COPD) (קורדובה-ביז'ונר, 2016; Krasnov et al., 2012). חסרים נתונים כמותיים על ממדי שירות ויסות איכות האוויר בישראל, אך לפי מחקרים בעולם, צמחייה באזורים עירוניים יכולה להפחית את ריכוזי האוזון באוויר בכ- 3% (Alonso, 2011), ואף להגיע עד לכדי 15% הפחתה באזורים עירוניים בעלי כיסוי צמחייה מלא (Nowak, 2002). הפחתת ריכוז האוזון בכ- 3% שקולה לירידה בשיעור התמותה בטרם עת בשיעור של כ- 1-2% (EPA, 2018). בנוסף, ידוע שדונם של עצים במערכות של היערות הנטועים ושל החורשים בישראל יכול לקלוט 1-4 ק"ג גופרה בכל שנה, ועצי



אורן קולטים יותר גופרה מעצי אלון בכל דונם (Singer et al., 1996). מלבד הפגיעה הישירה של זיהום האוויר בבריאות האדם, הפגיעה מזיהום גם מגלמת הפסד כלכלי גבוה כתוצאה מאובדן כושר עבודה, ימי אשפוז ועוד. תועלת נוספת של וויסות איכות האוויר על ידי הצמחייה היא וויסות של מפגעי ריח. חלק מהמזהמים מאופיינים בניחוחות שאינם נעימים לאדם (למשל תרכובות גופרית) ופוגעים ברווחתו ובנוחיותו גם מבלי לגרום לנזק פיסי ממש. טרם הוערכה בישראל התועלת הכלכלית לאדם מקיום צמחיה המפחיתה את זיהום אוויר. עם זאת, ניתן ללמוד ממחקרים מקיפים שנעשו בארה"ב, שהחיסכון הכלכלי עומד על 3.8 ביליון דולרים לשנה, כאשר הפחתת ריכוזי אוזון ( $< 2$  ביליון דולרים) וחלקיקים שקוטרם קטן מ 10 מיקרון (כביליון דולר) באמצעות צמחייה מגלמת יותר מ- 75% מרווח זה (Nowak, 2002; Nowak, 2006).

### 8.3 מגמות

#### 8.3.1 מצב בהווה ומגמות בשנים ועשורים האחרונים

ריכוזי האוזון בישראל הינם גבוהים במיוחד. ניסויים ראשונים מסוגם נעשו בישראל במספר יערות תחת תנאי אקלים שונים במטרה להעריך את קליטת האוזון בצמחים (Li et al., 2019; Li et al., 2018). באופן מפתיע ניסויים אלו מצביעים על קליטת אוזון גבוהה במיוחד על ידי צמחייה דווקא תחת תנאי חום ויובש, כפי שנצפה באזור יער יתיר. ההסבר לתופעה הוא שטף הפליטה הגבוה של תרכובות אורגניות נדיפות מצמחיה אשר מוביל להרס אוזון. בעונת האביב שקיעת האוזון מגיעה לשיא ביער יתיר בשל שילוב הפעילות הצמחית עם פליטה מוגברת של BVOCs. סילוק גבוה של אוזון בעונת האביב תחת תנאי יובש וחום הינו בעל חשיבות רבה במיוחד בישראל, היות ובעונה זו נוטים להימדד הריכוזים הגבוהים ביותר של אוזון בישראל. יתרה על כך, החום והיובש הרב גורמים לכך שהנזק הנגרם לצמחיה כתוצאה מחשיפה לאוזון מינימלי בשל חדריה מינימלית של אוזון דרך פיוניות הצמח בתנאים אלו (Li et al., 2019).

#### 8.3.2 גורמים מחוללי שינוי באספקת השירות

ככלל, סוג הצמח ומיקומו ישפיע במידה רבה על האפקטיביות שבהרחקת מזהם האוויר. אולם גם פרמטרים סביבתיים שונים ישפיעו על אפקטיביות ההרחקה של מזהמי אוויר על ידי הצמחים. תנאי האקלים, למשל, ישפיעו על התפקוד הביולוגי של הצמח. בניגוד לחלקיקים אשר הרחקתם אינה תלויה באופן משמעותי במידת הפעילות הצמחית, הרחקת אוזון ומזהמי אוויר גזיים אחרים גדלה באופן ניכר עם העלייה בפעילות הצמחית (Nowak, 2006). לפיכך בריאות וחיוניות הצמחייה מהווה גורם מפתח ביעילות הרחקת זיהום אוויר. במידה רבה גורמי עקה מסוימים יכולים לפגוע בתפקוד הצמח ובכך לפגוע גם בקליטת מזהמי האוויר על ידו בשל הפחתת שטח עלווה ופעילות צמחית מופחתת. יחד עם זאת, גורמי עקה מסוימים יכולים להגביר את שחרור ה VOCs מהצמחים ובכך להגדיל את יעילות הרחקת האוזון על ידי הצמחים. עבור צמחים שונים מידת ההשפעה של גורמי עקה שונים על מידת הרחקת זיהום האוויר כתוצאה משני הגורמים לעיל תהיה שונה במידה ניכרת. ידוע כי קיימים מינים שונים של צמחים שנטייתם היא דווקא לפלוט כמות מוגברת של VOCs אשר יובילו להפחתת ריכוזי האוזון, דווקא תחת ריכוזי אוזון גבוהים וכן תנאי חום ויובש גבוהים יחסית. לכן, שימוש בצמחייה כזאת יכול להיות יעיל ביותר להפחתת זיהום אוויר בישראל. יש לציין שבנוסף להרחקה הישירה של מזהמי

אוויר באמצעות צמחייה, צמחייה גם נוטה לצמצם את זיהום האוויר באופן עקיף על ידי שינוי תכונות האוויר שבקרבתה. כך למשל ידוע שהקטנת הטמפרטורה באמצעות צמחים נוטה להקטין את קצב התהליכים הכימיים ליצירת אוזון בקרבתם באופן משמעותי (Nowak, 2002).

מחקר מקיף שבוצע לאחרונה בישראל הצביע על כך שסילוק האוזון מהאטמוספירה באמצעות צמחיה עולה באופן משמעותי עם העלייה בלחות היחסית, כך שיעילות הסילוק, במיוחד באזורים יבשים יחסית, עולה באופן חד באזורים לחים יותר (Li et al., 2019). מחקר זה גם הצביע על התרומה של בריזת ים ובריזת יבשה בסילוק אוזון על ידי צמחיה באזורי חוף, דוגמת ישראל.

### 8.3.3 מבט לעתיד

צמחיה ובעיקר עצים, ידועים כמפחיתים את רמות זיהום האוויר, כולל זיהום אוויר חלקיקי. עלי הצמחייה קולטים מזהמים מן האוויר והקרקע, ובכך מסייעים בשיפור איכות האוויר. שטחי קרקע חשופים ללא צמחיה, מהווים לעיתים מקור לאבק אשר נכלא במרחב העיר ומגביר את הזיהום החלקיקי בה. מצבים כאלה תועדו לדוגמה בבאר שבע, בה נמצאו ריכוזי אבק הגבוהים מאלה שמחוץ לעיר, ומקורותיהם בשטחים החשופים שבעיר (Erell & Tsoar, 1999). אתרי בנייה בעיר ידועים אף הם כמקור מרכזי לאבק. בישראל, בניגוד לערים רבות אחרות בעולם, לא נלקחת ההשפעה המיטיבה של צמחייה על הפחתת זיהום אוויר כחלק מהתכנון העירוני. יערות עירוניים ישפיעו לחיוב על היבטים אקולוגיים אחרים, אבל ללא לקיחה בחשבון ובאופן ספציפי את התרומה להפחתת זיהום האוויר, היעילות של הפחתת המזהמים צפויה להיות נמוכה יותר. זאת היות ולסוג הצמחייה ומיקומו ביחס למקורות הזיהום והאוקלוסייה השפעה רבה על יעילות ההגנה מפני מזהמי האוויר, באופן המשתנה עבור תנאי האקלים הספציפיים.

### 8.4 פערי מידע וידע

בסה"כ ניתן לסכם שקיים כיום ידע רב שמאפשר לכמת באופן גס את הערך הבריאותי והכלכלי הנובעים מקיום צמחייה עירונית. בנוסף, ידועות התכונות הבסיסיות של צמחייה הנדרשים על מנת להפחית את מזהמי האוויר, חלקיקים, אוזון ואחרים באופן מיטבי. כמו-כן, ידוע שיש לשאוף לכך שהצמחייה תמצא בתוך או בשולי העיר על מנת להגן באופן מרבי בפני זיהום האוויר. יחד עם זאת חשוב לציין שעדיין קיים חוסר וודאות לגבי מינים ביולוגיים ספציפיים, היות ומידת האפקטיביות של כל מין בסילוק מזהמי אוויר תלויה באופן מורכב במספר תכונות, שחלקן אף לא ידועות כיום, עבור מין ספציפי. כמו כן, יש לקחת בחשבון שמינים שונים יתפקדו באופן שונה תחת תנאים סביבתיים שונים ולכן לא ניתן להקיש באופן ישיר וחד משמעי ממחקרים שבוצעו במקומות אחרים על הצפוי להתרחש בישראל. מחקרים שנעשו במקומות אחרים בעולם יכולים לשמש בסיס להבנה, מחקר נוסף או אף מימוש בהתאם לשיקול דעת והתחשבות במגוון גורמים הכוללים בין היתר את יחסי הגומלין של הצמחים עם שירותי וויסות אחרים. בכל מקרה, את מימוש שירות הוויסות רצוי לבצע על בסיס התנאים המטאורולוגיים ומקורות זיהום האוויר הספציפיים לכל אתר רלוונטי.

## 9. מקורות

### ויסות אקלים גלובלי

- המשרד להגנת הסביבה. (2015). מרשם פליטות לסביבה, דו"ח שנתי. שנת דיווח 2014.  
למ"ס. (2017). השנתון הסטטיסטי לישראל.
- וייץ, י., גרינצוויג, ז'. (2014). מאזן גזי החממה תחת שיטות ממשק חקלאי שונות והשפעתו על ויסות הרכב אטמוספרי כשירות המערכת האקולוגית. דוח מוגש למכון דש"א.
- קפלן, מ., אידלמן, ע. וחוב'. (2009). אינדיקטורים לפיתוח בר קיימא בישראל, חלק ב'. ירושלים: המשרד להגנת הסביבה, הלמ"ס ומכון ירושלים לחקר ישראל.
- Ahlström, A., Raupach, M. R., Schurgers, G., Smith, B., Arneeth, A., Jung, M., ... & Kato, E. (2015). The dominant role of semi-arid ecosystems in the trend and variability of the land CO<sub>2</sub> sink. *Science*, 348(6237), 895-899.
- Ciais, P., Wattenbach, M., Vuichard, N., Smith, P., Piao, S. L., Don, A., ... & Leip, A. (2010). The European carbon balance. Part 2: croplands. *Global Change Biology*, 16(5), 1409-1428.
- Chisholm, S.W. (2000). Oceanography: stirring times in the Southern Ocean. *Nature*, 407(6805), 685-687.
- Erez, J., Iluz, D., Zakai, D., Silverman, J., & Lazar, B. (2003). Eutrophication processes in the Gulf of Eilat (Aqaba), Red-Sea, and their effects on the coral reef ecosystem. In *EGS-AGU-EUG Joint Assembly 1*, 11772.
- Feng, S. & Fu, Q. (2013). Expansion of global drylands under a warming climate. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13, 10081-10094.
- Gates, M.D. (1980). *Biophysical Ecology*. Springer-Verlag, New York, USA.
- Gelfand, I., Grünzweig, J.M., Yakir, D. (2012). Slowing of nitrogen cycling and increasing nitrogen use efficiency following afforestation of semi-arid shrubland. *Oecologia*, 168, 563-575.
- Gogou, A., Sanchez-Vidal, A., Durrieu de Madron, X., et al. (2014). Carbon flux to the deep in three open sites of the Southern European Seas (SES). *Journal of Marine Systems*, 129, 224-233.
- Grünzweig, J.M., Gelfand, I., Fried, Y., Yakir, D. (2007). Biogeochemical factors contributing to enhanced carbon storage following afforestation of a semi-arid shrubland. *Biogeosciences*, 4, 891-904.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., M. et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Klein, T., Hartmann, H. (2018). Climate change drives tree mortality. *Science*, 362, 758-759.
- Koch, J., Dayan, U., Mey-Marom, A. (2000). Inventory of emissions of greenhouse gases in Israel. *Water, Air, and Soil Pollution*, 123, 259-271.
- Koniak, G., Noy-Meir, I., & Perevolotsky, A. (2011). Modelling dynamics of ecosystem services basket in Mediterranean landscapes: a tool for rational management. *Landscape Ecology*, 26, 109-124.
- Le Houérou, H.N. (1996). Climate change, drought and desertification. *Journal of Arid Environments*, 34, 133-185.

- Quéré, C., Andrew, R. M., Friedlingstein, P., Sitch, S., Pongratz, J., Manning, A. C., ... & Boden, T. A. (2018). Global carbon budget 2017. *Earth System Science Data*, 10(1), 405-448.
- Luyssaert, S., Inglima, I., Jung, M., et al. 2007. CO2 balance of boreal, temperate, and tropical forests derived from a global database. *Global Change Biology* 13, 2509-2537.
- Peled, Y., Zemah Shamir, S., Shechter, M., Rahav, E., & Israel, A. (2018). A new perspective on valuating marine climate regulation: The Israeli Mediterranean as a case study. *Ecosystem Services*, 29, 83-90.
- Peñuelas, J., Ciais, P., Canadell, J.G., Janssens, I.A., Fernandez-Martinez, M., Carnicer, J., Obersteiner, M., Piao, S., Vautard, R., Sardans, J. (2017). Shifting from a fertilization-dominated to a warming-dominated period. *Nature Ecology and Evolution* 1, 1438-1445.
- Poulter, B., Frank, D., Ciais, P., Myneni, R. B., Andela, N., Bi, J., ... & Running, S. W. (2014). Contribution of semi-arid ecosystems to interannual variability of the global carbon cycle. *Nature*, 509(7502), 600.
- Ramati, E. (2015). *Tradeoffs between Carbon Sequestration and Radiation Budget in Influencing Climate along the Precipitation Gradient in Israel* (MSc Thesis). Weizmann Institute of Science, Rehovot, Israel.
- Rotenberg, E., Yakir, D. (2010). Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*, 327, 451-454.
- Watson, R., Albon, S., Aspinall, R., Austen, M., Bardgett, B., Bateman, I., ... & Bulloch, J. (2011). *UK National Ecosystem Assessment: Technical Report*. United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
- Stern, N. (2006). *Stern Review on the Economics of Climate Change*. HM Treasury, UK.
- Talmon, Y., Sternberg, M., Grünzweig, J.M. (2011). Impact of rainfall manipulations and biotic controls on soil respiration in Mediterranean and desert ecosystems along an aridity gradient. *Global Change Biology*, 17, 1108-1118.

#### ויסות אקלים מקומי

- אוסם, י. (2013). סוגיות עיקריות בחקר היערות המחטניים של ישראל - סיכום ארבעים שנות מחקר (1972-2012) חלק ב: הבנת התהליכים הטבעיים המתרחשים ביער ומעבר לניהול היער כמערכת אקולוגית רב-תכליתית. אקולוגיה וסביבה, 4(4), 321-330.
- ברנשטיין, א. (2010). *הלימים בנגב: מסמך מדיניות*. הקרן הקיימת לישראל.
- וינשטיין, א., ושילר, ג. (1981). מיקרו-אקלים בחורש טבעי וניהולו למטרות נופש. *ליערן – ביטאון אגודת היער בישראל*, שנה 31 מס' 1-4, 12-17.
- כהן, פ., פוצ'טר, ע., ביתן, א. (2007). ביוקלימטולוגיה של פארקים עירוניים בתל-אביב. *יער*, 9, 46-40.
- מושליון, כ. (2008). *השפעתם של שני מיני עצים שונים על המיקרואקלים ונוחות האדם באזורים מדבריים* (עבודת מסטר). אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.
- פוצ'טר, ע., שעשוע-בר, ל. (2009). שטחים ציבוריים פתוחים ירוקים בעיר תל אביב- היבטים סביבתיים, אקלימיים ואקולוגיים. בתוך: קיפניס, ב. (עורך). *תל-אביב-יפו מפרבר גנים לעיר עולם*, מאה השנים הראשונות. חיפה: פרדס הוצאה לאור.
- פוצ'טר, ע., שעשוע-בר, ל., בולטנסקי, ד., כהן, פ., יעקב, י. (2009). *השפעת הצמחייה וגורמי הבינוי על מיקרו האקלים, איכות האוויר ורעש בשטחים עירוניים פתוחים- מדידות שדה, סימולציות והנחיות לתכנון בר קיימא, תואם אקלים וסביבה*. דוח מסכם למחקר 6-802 במשרד לאיכות הסביבה.

- פוצ'טר, ע., יעקב, י., שעשוע-בר, ל., כהן, ש., טנאי, י., בר-קוטיאל, פ. (2012). מיתון עומס חום בערים מדבריות באמצעות צמחים - באר שבע כמקרה בוחן. *אקולוגיה וסביבה*, 3(1), 33-42.
- שילר, ג. (1974). מיקרו-אקלים ועקת חום של אדם ביערות הר הכרמל. *ליערן - ביטאון אגודת היער בישראל*, 24(1-2), 1-6.
- שילר, ג. (2013). [גידול עצי יער ויערות בישראל. ארץ של ספר המדבר](#). רחובות.
- ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. [Thermal environmental conditions for human occupancy](#). *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ANSI/ASHRAE) Standard*. Retrieved December 2018.
- Becker S, Potchter O, Yaakov Y. (2003). Calculated and observed human thermal sensation in an extremely hot and dry climate. *Energy and Buildings*, 35, 747-756.
- Brooks, R.T. (2005). A review of basin morphology and pool hydrology of isolated ponded wetlands: implications for seasonal forest pools of the northeastern United States. *Wetlands Ecology and Management*, 13, 335-348.
- Cable Rains, M., Fogg, G. E., Harter, T., Dahlgren, R. A., & Williamson, R. J. (2006). The role of perched aquifers in hydrological connectivity and biogeochemical processes in vernal pool landscapes, Central Valley, California. *Hydrological Processes*, 20(5), 1157-1175.
- Cohen, S., Ianetz, A., & Stanhill, G. (2002). Evaporative climate changes at bet Dagan, Israel, 1964-1998. *Agricultural and Forest Meteorology*, 111(2), 83-91.
- Givoni B. (1991). Impact of planted areas on urban environmental quality: A review. *Atmospheric Environment*, 25B(3), 289-299.
- Hager, H.A. (2004). Competitive effect versus competitive response of invasive and native wetland plant species. *Oecologia*, 139, 140-149.
- Holmgren, M., Gomez-Aparicio, L., Quero, JL., Valladares, F. (2011). Non-linear effects of drought under shade: reconciling physiological and ecological models in plant communities. *Oecologia*, 169, 293-305.
- Houlahan, J.E. and Findlay, C.S. 2004. Effect of invasive plant species on temperate wetland plant diversity. *Conservation Biology*, 18, 1132-1138.
- ISO.7730:2005. [Ergonomics of the thermal environment: Analytical determination and interpretation of thermal comfort](#).
- Kotzen, B. (2003). An investigation of shade under six different tree species of the Negev desert towards their potential use for enhancing micro-climatic conditions in landscape architectural development. *Journal of Arid Environments*, 55, 231-274.
- Lin, T.P. (2009). Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment*, 44, 2017-2026.
- Newcomb Homan, R., Wundmiller, B.S. & J. Reed, M. (2004). Critical thresholds associated with habitat loss for two vernal pool-breeding amphibians. *Ecological Applications*, 14, 1547-1553.
- Oke, T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*, 2nd ed. New York: Methuen.
- Potchter, O., Cohen, P., Yaakov, Y., & Bitan, A. (2002). The climatic behavior of various types of urban parks in coastal Mediterranean city during the summer-The case of Tel Aviv, Israel. *Measurements*.
- Potchter, O., Goldman, D., Kadish, D., & Iluz, D. (2008). The oasis effect in an extremely hot and arid climate: The case of southern Israel. *Journal of Arid Environments*, 72(9), 1721-1733.

- Potchter O, Goldman D, Iluz D, Kadish D. (2012). The climatic effect of manmade oasis during winter season in hyperarid zone: the case of southern Israel. *Journal of Arid Environments*, 87, 231-242.
- Rotenberg, E., & Yakir, D. (2010). Contributions of Semi-Arid Forests to the Climate System. *Science*, 327, 451-454.
- Saaroni, H., Ben-Dor, E., & Bitan, A. (1999). The combined impact of an urban park and sea breeze on a coastal city's climate: the city of Tel Aviv, Israel as a case study. In: *Proceedings of the 15th international congress of biometeorology & international conference on urban climatology*. Sydney, Australia.
- Saaroni, H., & Ziv, B. (2010). Estimating the urban heat island contribution to urban and rural air temperature differences over complex terrain: application to an arid city. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(10), 2159-2166.
- Saaroni, H., Ziv, B., & Alpert, P. (2003). Long-term variations in the summer temperatures over the Eastern Mediterranean. *Geophysical Research Letters*, 30, 1946.
- Samuels, R., Rimmer, A. & Alpert, P. 2009. Effect of extreme rainfall events on the water resources of the Jordan River. *Journal of Hydrology*, 375, 513–523.
- Schiller, G. (1974). Relation of microclimate to thermal stress of man in two forest types on Mt. Carmel. *La Yaaran*.
- Shashua-Bar, L., Potchter, O., Bitan, A., Boltansky, D., Yaakov, Y. (2006). *Climatic performance of urban trees under various building densities of urban open spaces- an empirical and analytical study in a Mediterranean climate, a case study in Tel Aviv, Israel*. IUCU 2006 - 6th International Conference, Göteborg, Sweden, 246-249.
- Shashua-Bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and buildings*, 31(3), 221-235.
- Spronken-Smith, R.A., Oke, T.R., & Lowry, W.P. (2000). Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park. *International Journal of Climatology*, 20, 1033-1047.
- Schiller, G., & Karschon, R. (1973). Microclimate and thermal stress of man in an Aleppo pine plantation and an oak scrub. *Israel journal of agricultural research*.
- West, P. C., Narisma, G. T., Barford, C. C., Kucharik, C. J., & Foley, J. A. (2011). An alternative approach for quantifying climate regulation by ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(2), 126-133.
- Ziv, B., Saaroni, H., Pargament, R., Harpaz, T. and Alpert, P. (2014). Trends in rainfall regime over Israel, 1975–2010, and their relationship to large-scale variability. *Regional Environmental Change*. 1–14.

#### ויסות אירועי קיצון- שיטפונות והצפות

- אבן ארי, מ., שגן, ל., תדמור, ג. (1980). הנגב. מלחמת קיום במדבר. ירושלים: הוצאת ביאליק.
- אגוזי, ר., אשל, ג., ופורמן, א. (2015). השפעת חיפוי הקרקע על היווצרות נגר עילי בפרדסים. עלון הנוטע, 70(11), 32-37.
- אגמי, מ. (1973). השפעת זיהום מי הנחלים אלכסנדר וירקון על צמחייתם (עבודת גמר לתואר מוסמך). המחלקה לבוטניקה, אוניברסיטת תל-אביב, תל אביב.



- אגמי, מ. (1995). צמחיית הירקון – עבר והווה. בתוך פרגמנט, ד. (עורך). *הירקון* (עמ' 65-62). רשות נחל הירקון, רמת גן.
- אלון מוזס, ט. וחוב' (2017). ממטרד למשאב – ניהול והשבת מי נגר עירוני בעיר רגישת מים. קרקע, גליון 76.
- בורקמן, ש. (2017). מי נגר עירוני- הקלישאה 'ממטרד למשאב' מעולם לא הייתה מדויקת יותר. בתוך: כרמון, נ. וחוב' (2017). רב-שיח בנושא ניצול מי הנגר העירוני. *אקולוגיה וסביבה*, 4, 83-92.
- גולדשלגר, נ., שושני, מ., ארבל, ש., גטקר, מ., קרניבד, ל. (2005). שינויים עיתיים ביחסי נגר עילי עם תכסית וצפיפות אוכלוסיה במרחב עירוני: בהדגמת רעננה והרצליה. *אופקים בגאוגרפיה*, 54-65, 455-465.
- גטקר, מ., ומאור, א. (2008). *ניטור השפעת עצים נטועים באפיקי נחלים על יציבותם ומשטר הזרימה באגנים*. דו"ח סופי למחקר 90-9-180-06. ערדום ניהול ואחזקות, חבל אילת. עמ' 24.
- גרת, ר., ארבל, ש., וחוב' (1993). הבינוי העירוני מגביר את ספיקות השיא ואת אחוזי הנגר אמת או אגדה? דו"ח מיוחד מס' 43-M, התחנה לחקר הסחה, האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות.
- זיגל, א., ענבר, מ., פלד, א. (2009). מציאת מקדם הנגר העירוני בסביבה העירונית של חיפה. אופקים בגאוגרפיה, עמ' 257-266.
- זינגר, י. (2017). צעדים לקראת "ערים רגישות מים" בישראל- אסדרת ההשבה של מי נגר עירוני. בתוך: כרמון, נ. וחוב' (2017). רב-שיח בנושא ניצול מי הנגר העירוני. *אקולוגיה וסביבה*, 8(4), 83-92.
- טל, ד. (2017). הנגר העירוני, יש מה לעשות. בתוך: כרמון, נ. וחוב' (2017). רב-שיח בנושא ניצול מי הנגר העירוני. *אקולוגיה וסביבה*, 8(4), 83-92.
- משרד החקלאות ופיתוח הכפר (2018). נוהל תמיכה במפעלי ניקוז לשנת 2019. האגף לשימור קרקע וניקוז.
- פרלמן, א., וידן, א., גרינבאום, י., וחוב' (2004). מדריך לתכנון ובניה משמרת נגר עילי. משרד הבינוי והשיכון.
- סיני, ג., מולכו, ר., מורדי, ת., ארבל, ש., והלוי, ר. (2006). *פיתוח אמצעי ייצוב בנחלים ודרכי מים*. דו"ח סופי למחקר 838-0523-04, הטכניון, חיפה. עמ' 119.
- צעדי א. (1999). קרומי קרקע ביולוגיים ותפקידם במערכת אקולוגית מדברית. *אקולוגיה וסביבה*, 5, 77-83.
- קפלן, ד., ופדרמן, ר. (2014). *דו"ח מצב הטבע: בתי גדול לחים בישראל – 2014*. המארג. עמ' 118.
- רוזנצביג, ד. (2008). *תכנון אפיקי נחלים ותעלות ניקוז*. מתוך: נחלים וניקוז - תהליכים, הנדסה ותוכן, בעריכת: בן-צבי א, שחף נ ואחרים. רשות ניקוז שיקמה-בשור והמכללה האקדמית להנדסה סמי שמעון. עמ' 219-232.
- שאוקלר, ע. (2005). *השפעת ההתיישבות בצפון וצפון מערב הנגב על מערכת הניקוז הנחלית* (עבודת מסטר). אוניברסיטת בן-גוריון בנגב.
- שחק מ. (2011). מרקמים אקולוגיים: מערכות אקולוגיות בצפון הנגב כמודל. *אקולוגיה וסביבה*, 2(1), 18-29.
- שמיר, א., כרמון, נ. (2007). *תר"מ - תכנון רגיש למים, שילוב שיקולי מים בתכנון עירוני ואזורי*. מכון גרנד לחקר המים והמרכז לחקר העיר והאזור, הטכניון - מכון טכנולוגי לישראל.
- Bennett, S.J., & Simon, A. (2004). *Riparian Vegetation and Fluvial Geomorphology*. Washington, DC: American Geophysical Union.
- Corenblit, D., Tabacchi, E., Steiger, J., & Gurnell, A.M. (2007). Reciprocal interactions and adjustments between fluvial landforms and vegetation dynamics in river corridors: A review of complementary approaches. *Earth-Science Reviews*, 84, 56-86.
- Corenblit, D., & Steiger, J. (2009). Vegetation as a major conductor of geomorphic changes on the Earth surface: toward evolutionary geomorphology. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 34(6), 891-896.
- Grodek, T., Lange, J., Lekach, J., & Husary, S. (2011). Urban hydrology in mountainous middle eastern cities. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(3), 953.

- Hassan, M. A., & Egozi, R. (2001). Impact of wastewater discharge on the channel morphology of ephemeral streams. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 26(12), 1285-1302.
- Hickin, E. J. (1984). Vegetation and river channel dynamics. *Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 28(2), 111-126.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change). (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker TF, Qin D, et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Levin, N., Elron, E., Gasith, A. (2009). Decline of wetland ecosystems in the coastal plain of Israel during the 20th century: Implications for wetland conservation and management. *Landscape and Urban Planning*, 92, 220-232.
- Litav, M., & Agami, M. (1976). Relationship between water pollution and the flora of two coastal rivers in Israel. *Aquatic Botany*, 2, 23-41.
- Pataki, D.E., Carreiro, M.M., Cherrier, J., Grulke, N.E., Jennings, V., Pincetl, S., Pouyat, R.V., Whitlow, T.H. and Zipperer, W.C. (2011). Coupling biogeochemical cycles in urban environments: ecosystem services, green solutions, and misconceptions. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(1), 27-36.
- Samuels, R., Rimmer, A., Hartmann, A., Krichak, S., & Alpert, P. (2010). Climate change impacts on Jordan River flow: downscaling application from a regional climate model. *Journal of Hydrometeorology*, 11(4), 860-879.

#### ויסות אירועי קיצון- שריפות

- אורלב, צ. (2016). איפה יש יותר שריפות בישראל? תלוי את מי שואלים. *זווית- סוכנות ידיעות למדע וסביבה*. (24.11.2016)
- אשכנזי, מ., דוד-אונגר, י., משה, י., אברהם, י., צורף, ח., אסם, י. (2018). טיפול באזורי חיץ לאש והשפעתו על סכנת שריפה ביערות מחטניים. *אקולוגיה וסביבה*, 9(1), 30-39.
- דופור-דרור, ז.מ. (2011). אזורי חיץ למניעת שריפות סביב ישובים ולאורך דרכים: בחינת הידע הקיים באזורים ים תיכוניים ומפרט טכני ליישום בישראל. המשרד להגנת הסביבה.
- השירות המטאורולוגי. (2016). חיזוי סכנת שריפות יער וחורש. השירות המטאורולוגי ומשרד התחבורה.
- טסלר, נ. (2009). שרפות יער וחורש במערכת הים תיכונית בישראל. רט"ג. פורסם באתר האגודה הישראלית לאקולוגיה ולמדעי הסביבה.
- ישראל, א. (2013). על הקשר בין ההתחממות הגלובלית ושריפות יער. *globeblog*, 24 בדצמבר 2013.
- לנדאו, י., אונגר, ד., סגל, א., מוקלדה, ח., חלבי, מ., כרמל, י. (2016). השפעת עדר עיזים ממשקי על הצומח לאחר שריפת יער בפארק הכרמל. מנהל המחקר החקלאי והמשרד לאיכות הסביבה. מחקר מס' 3-3-125.
- מאטי (מאגר מידע לחקר אסונות טבע בישראל). (2018). שריפות יער. מאטי, מרכז מינרבה לשילטון החוקר במצבי קיצון, אונ' חיפה.
- ענבר, מ. (2007). אסונות טבע בישראל- האם צפויה החמרה? ניתוח עתי ומרחבי של אסונות טבע מאז קום המדינה. בתוך: ענבר, מ. ופורת, ר. (עורכים). *אסונות טבע בישראל* (עמ' 7-12). הוצאת החוג לגיאוגרפיה ולימודי הסביבה, אוניברסיטת חיפה.
- רגב, ב., עמרם, ש., עמית, א. (2012). ניתוח לחיזוי. *בטחון פנים*, 1, 38-39.



- Alessio, G. A., Peñuelas, J., Llusà, J., Ogaya, R., Estiarte, M., & De Lillis, M. (2008). Influence of water and terpenes on flammability in some dominant Mediterranean species. *International Journal of Wildland Fire*, 17(2), 274-286.
- Carmel, Y., Paz, S., Jahshan, F., & Shoshany, M. (2009). Assessing fire risk using Monte Carlo simulations of fire spread. *Forest Ecology and Management*, 257(1), 370-377.
- Dimitrakopoulos, A. P., & Papaioannou, K. K. (2001). Flammability assessment of Mediterranean forest fuels. *Fire Technology*, 37(2), 143-152.
- Levin, N., Tessler, N., Smith, A., & McAlpine, C. (2016). The human and physical determinants of wildfires and burnt areas in Israel. *Environmental management*, 58(3), 549-562.
- Nader, G., Henkin, Z., Smith, E., Ingram, R., & Narvaez, N. (2007). Planned Herbivory in the Management of Wildfire Fuels: Grazing is most effective at treating smaller diameter live fuels that can greatly impact the rate of spread of a fire along with the flame height. *Rangelands*, 29(5), 18-24.
- Ne'eman, G., Goubitz, S., & Nathan, R. (2004). Reproductive traits of *Pinus halepensis* in the light of fire—a critical review. *Plant Ecology*, 171(1-2), 69-79.
- Paz, S., Carmel, Y., Jahshan, F., & Shoshany, M. (2011). Post-fire analysis of pre-fire mapping of fire-risk: A recent case study from Mt. Carmel (Israel). *Forest Ecology and Management*, 262(7), 1184-1188.
- Perevolotsky A. 2005. Integrating landscape ecology in the conservation of Mediterranean ecosystems: The Israeli experience. *Israel Journal of Plant Sciences*, 53(3-4), 203-213.
- Turco, M., Bedia, J., Di Liberto, F., Fiorucci, P., Von Hardenberg, J., Koutsias, N., ... & Provenzale, A. (2016). Decreasing fires in mediterranean Europe. *PLoS one*, 11(3), e0150663.

#### ויסות סחיפת קרקע

- ארגמן, א., אגוזי, ר., שחר, מ., פיזיק, א., צה-דבורי, נ., טל, ג., רונן, ד., דרורי, ע., שוער, נ. (2015). ספיקות שיא ונפחי נגר בתחומי התנגקות משניים שנמדדו בתחנות הידרומטריות של התחנה לחקר הסחף חורף 2014/2015. האגף לשימור קרקע וניקוז, התחנה לחקר הסחף. משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
- אשל, ג., אגוזי, ר., גולדווסר, ע., חיות, א., קוז'יקרו, ה., רובין, ב., דר, צ., קשתי, י., פיין, פ.ף אלבו, ר., דיסני, ד. (2014). גידולי כיסוי בתפוחי-אדמה כאמצעי לשימור קרקע, מים וסביבה. מבזק ירקות – שדה וירק, 271, 44-50.
- בן-חור, מ., טנאו, ח., לייב, ל. (2006). שימוש בגזם מרוסק של עצים כחיפוי קרקע למניעת נגר וסחף. יער, 8, 23-29.
- בן-חור, מ., טנאו, ח., לאדו, מ., לייב, ל., ענבר, א. (2015). השפעת השינוי בשימושי קרקע משטחי בור ליער נטע אדם על המבנה והתכונות ההידראוליות של הקרקע בתנאי אקלים שונים בישראל. יער, 14, 24-32.
- זיידנברג, ר. (2013). תנועת האדמה - מבט מן השטח על מצב קרקעות ישראל. אקולוגיה וסביבה, 1, 17-19.
- זיידנברג, ר., וחוב'. (2007). פיתוח חקלאות משמרת משאבי קרקע וסביבה חקלאית. תכנית ארצית רב שנתית. משרד החקלאות ופיתוח הכפר.
- מורין, א., פרייס ק., יאיר, י. (2010). השפעת שינויי אקלים על משטר הזרימות העיליות ועל שכיחות וגודל אירועי שיטפונות באגני ההיקוות בישראל. המשרד להגנת הסביבה.
- הדס, א., טור ציון, י., איזנקוט, א. וזיידנברג, ר. (2009). מניעת סחף קרקע – ניתוח עלות מול תועלת. ניר ותלם, 13, 17-27.
- סבוראי, ט., וזיידנברג, ר. (2011). אבדן קרקע באגנים חקלאיים - הצעה לפתרון. אקולוגיה וסביבה, 2(2), 154-152.
- צעדי, א. (1999). קרומי קרקע ביולוגים ותפקידם במערכת אקולוגית מדברית. אקולוגיה וסביבה, 5(2-3), 77-83.

- רוזנטל, ג., ופוקס, ה. (2015). הערכה כלכלית של השפעת ממשקים חקלאיים שונים על שמ"א במרחב שקמה. חלק מהמחקר החלוץ ליישום גישת שירותי המערכת האקולוגית בתכנון ובניהול מרחב שקמה. מכון דש"א.
- Adeel, Z. & Safriel, U. (2005). Ecosystems and Human Well-being: Desertification Synthesis. In: *The Millennium Ecosystem Assessment*, World Resources Institute, Washington DC.
- Inbar, M., Tamir, M. I, Wittenberg, L. (1998). Runoff and erosion processes after a forest fire in Mount Carmel, a Mediterranean area. *Geomorphology*, 24, 17–33.
- Katra, I., Arotsker, L., Krasnov, H., Zaritsky, A., Kushmaro, A., & Ben-Dov, E. (2014). Richness and diversity in dust stormborne biomes at the southeast mediterranean. *Scientific reports*, 4, 5265.
- Kutiel P, Lavee H, Segev M, Benyamini Y. (1995). The effect of fire-induced surface heterogeneity on rainfall-runoff-erosion relationships in an eastern Mediterranean ecosystem, Israel. *Catena*, 25, 77-87.
- Lavee, H., Kutiel, P., Segev, M., Benyamini, Y. (1995). Effect of surface roughness on runoff and erosion in a Mediterranean ecosystem :the role of fire. *Geomorphology*, 11, 227–234.
- Safriel, U. N., Berliner, P., Novoplansky, A., Laronne, J. B., Karnieli, A., Moshe, I., ... & Kusek, G. (2010). Soil Erosion-Desertification and the Middle Eastern Anthroscapes. In *Sustainable Land Management* (pp. 57-124). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Shachnovich Y, Berliner PR, Bar (Kutiel) P. (2008). Rainfall interception and spatial distribution of throughfall in a pine forest planted in an arid zone. *Journal of Hydrology*, 349, 168-177.
- Stavi, I., Fizik, E., & Argaman, E. (2015). Contour bench terrace (shich/shikim) forestry systems in the semi-arid Israeli Negev: effects on soil quality, geodiversity, and herbaceous vegetation. *Geomorphology*, 231, 376-382.
- Tanner S, Katra I, Haim A, Zaady E. (2016). Short-term soil loss by eolian erosion in response to different rain-fed agricultural practices. *Soil and Tillage Research*, 155, 149-156.
- Yair A, Almog R, Veste M. (2011). Differential hydrological response of biological topsoil crusts along a rainfall gradient in a sandy arid area: Northern Negev Desert, Israel. *Catena*, 87, 326-333.
- Zaady, E., & Offer, Z. Y. (2010). Biogenic soil crusts and soil depth: a long-term case study from the Central Negev desert highland. *Sedimentology*, 57(2), 351-358.

#### האבקת גידולים חקלאיים

- דורצ'ין, א. (2017). השפעת מרעה דבורי דבש על דבורי הכר והטבע בישראל, מסמך סקירה והמלצות למדיניות. הוצאת החברה להגנת הטבע.
- לופו, ע. (1970) הדבורה *Megachile rotundata F.* כמאביקה של פרחי האספסת התרבותית *Medicago sativa* L. בישראל (חיבור לתואר מוסמך). אוניברסיטת ת"א.
- קיסר, ת. ונאמן, ג. (2016). אינדיקטורים לניטור שירותי האבקה במערכת האקולוגית בכרמל – השפעת קווי חייך ורעיה. המשרד להגנת הסביבה.
- רגב, א. ודג, א. (1994). התרומה הכלכלית של דבורי דבש להאבקת גידולים חקלאיים בישראל. *השדה*, 74, 688-689.
- Aizen, M. A., & Harder, L. D. (2009). The global stock of domesticated honey bees is growing slower than agricultural demand for pollination. *Current biology*, 19(11), 915-918.

- Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A., & Klein, A. M. (2008). Long-term global trends in crop yield and production reveal no current pollination shortage but increasing pollinator dependency. *Current Biology*, *18*(20), 1572-1575.
- Andersson, G. K., Birkhofer, K., Rundlöf, M., & Smith, H. G. (2013). Landscape heterogeneity and farming practice alter the species composition and taxonomic breadth of pollinator communities. *Basic and Applied Ecology*, *14*(7), 540-546.
- Bartomeus, I., Ascher, J. S., Gibbs, J., Danforth, B. N., Wagner, D. L., Hedtke, S. M., & Winfree, R. (2013). Historical changes in northeastern US bee pollinators related to shared ecological traits. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *110*(12), 4656-4660.
- Bauer, D. M., & Wing, I. S. (2010). Economic consequences of pollinator declines: a synthesis. *Agricultural and Resource Economics Review*, *39*(3), 368-383.
- Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., ... & Settele, J. (2006). Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science*, *313*(5785), 351-354.
- Brittain, C., Kremen, C., Garber, A., & Klein, A. M. (2014). Pollination and plant resources change the nutritional quality of almonds for human health. *PLoS one*, *9*(2), e90082.
- Brown, M. J., & Paxton, R. J. (2009). The conservation of bees: a global perspective. *Apidologie*, *40*(3), 410-416.
- Burkhard, B., Kroll, F., Nedkov, S., & Müller, F. (2012). Mapping ecosystem service supply, demand and budgets. *Ecological Indicators*, *21*, 17-29.
- Carvalho, L. G., Kunin, W. E., Keil, P., Aguirre-Gutiérrez, J., Ellis, W. N., Fox, R., ... & Van de Meutter, F. (2013). Species richness declines and biotic homogenisation have slowed down for NW-European pollinators and plants. *Ecology letters*, *16*(7), 870-878.
- Dafni, A., & Shmida, A. (1996). The possible ecological implications of the invasion of *Bombus terrestris*, 183-200.
- Delaplane, K. S., Mayer, D. R., & Mayer, D. F. (2000). *Crop pollination by bees*. Oxon: CABI.
- Dorchin, A., Filin, I., Izhaki, I., & Dafni, A. (2013). Movement patterns of solitary bees in a threatened fragmented habitat. *Apidologie*, *44*(1), 90-99.
- Eilers, E. J., Kremen, C., Greenleaf, S. S., Garber, A. K., & Klein, A. M. (2011). Contribution of pollinator-mediated crops to nutrients in the human food supply. *PLoS one*, *6*(6), e21363.
- Fleischer, A., Shafir, S., & Mandelk, Y. (2013). A proactive approach for assessing alternative management programs for an invasive alien pollinator species. *Ecological economics*, *88*, 126-132.
- Free, J. B. (1993). *Insect pollination of crops*. London, UK: Academic Press
- Gallai, N., Salles, J. M., Settele, J., & Vaissière, B. E. (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological economics*, *68*(3), 810-821.
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Kremen, C., Morales, J. M., Bommarco, R., Cunningham, S. A., ... & Holzschuh, A. (2011). Stability of pollination services decreases with isolation from natural areas despite honey bee visits. *Ecology letters*, *14*(10), 1062-1072.
- Garibaldi, L. A., Steffan-Dewenter, I., Winfree, R., Aizen, M. A., Bommarco, R., Cunningham, S. A., ... & Bartomeus, I. (2013). Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *science*, *339*(6127), 1608-1611.

- Ghazoul, J. (2005). Buzziness as usual? Questioning the global pollination crisis. *Trends in ecology & evolution*, 20(7), 367-373.
- Gill, R. J., Ramos-Rodriguez, O., & Raine, N. E. (2012). Combined pesticide exposure severely affects individual-and colony-level traits in bees. *Nature*, 491(7422), 105.
- Henry, M., Beguin, M., Requier, F., Rollin, O., Odoux, J. F., Aupinel, P., ... & Decourtye, A. (2012). A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees. *Science*, 336(6079), 348-350.
- Kennedy, C. M., Lonsdorf, E., Neel, M. C., Williams, N. M., Ricketts, T. H., Winfree, R., ... & Carvalho, L. G. (2013). A global quantitative synthesis of local and landscape effects on wild bee pollinators in agroecosystems. *Ecology letters*, 16(5), 584-599.
- Klatt, B. K., Holzschuh, A., Westphal, C., Clough, Y., Smit, I., Pawelzik, E., & Tschardt, T. (2014). Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proc. R. Soc. B*, 281(1775), 20132440.
- Klein, A. M., Vaissiere, B. E., Cane, J. H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., & Tschardt, T. (2007). Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 274(1608), 303-313.
- Lebuhn, G., Droege, S., Connor, E. F., Gemmill-Herren, B., Potts, S. G., Minckley, R. L., ... & Cane, J. (2013). Detecting insect pollinator declines on regional and global scales. *Conservation Biology*, 27(1), 113-120.
- Lotan, A., Kost, R., Mandelik, Y., Peled, Y., Chakuki, D., Shamir, S. Z., & Ram, Y. (2018). National scale mapping of ecosystem services in Israel—genetic resources, pollination and cultural services. *One Ecosystem*, 3, e25494.
- Mandelik, Y., Winfree, R., Neeson, T., & Kremen, C. (2012). Complementary habitat use by wild bees in agro-natural landscapes. *Ecological Applications*, 22(5), 1535-1546.
- Michener, C.D. (2007). *The Bees of the World* (2nd edition). Baltimore: Johns Hopkins University Press.
- Moritz, R. F., Haddad, N., Bataineh, A., Shalmon, B., & Hefetz, A. (2010). Invasion of the dwarf honeybee *Apis florea* into the near East. *Biological Invasions*, 12(5), 1093-1099.
- Nogué, S., Long, P. R., Eycott, A. E., de Nascimento, L., Fernández-Palacios, J. M., Petropoulos, G., Vandvik, V., & Willis, K. J. (2016). Pollination service delivery for European crops: Challenges and opportunities. *Ecological Economics*, 128, 1-7.
- Ollerton, J., Winfree, R., & Tarrant, S. (2011). How many flowering plants are pollinated by animals?. *Oikos*, 120(3), 321-326.
- O'Toole, C., & Raw, A. (1991). *Bees of the world*. New York: Facts on File, Inc.
- Pisanty, G., & Mandelik, Y. (2015). Profiling crop pollinators: life history traits predict habitat use and crop visitation by Mediterranean wild bees. *Ecological Applications*, 25(3), 742-752.
- Pisanty, G., Klein, A. M., & Mandelik, Y. (2014). Do wild bees complement honeybee pollination of confection sunflowers in Israel?. *Apidologie*, 45(2), 235-247.
- Potts, S. G., Roberts, S. P., Dean, R., Marris, G., Brown, M. A., Jones, R., ... & Settele, J. (2010). Declines of managed honey bees and beekeepers in Europe. *Journal of Apicultural Research*, 49(1), 15-22.

- Richards, A. J. (2001). Does low biodiversity resulting from modern agricultural practice affect crop pollination and yield?. *Annals of botany*, 88(2), 165-172.
- Ricketts, T. H., Regetz, J., Steffan-Dewenter, I., Cunningham, S. A., Kremen, C., Bogdanski, A., ... & Morandin, L. A. (2008). Landscape effects on crop pollination services: are there general patterns?. *Ecology letters*, 11(5), 499-515.
- Sadeh, A., Shmida, A., & Keasar, T. (2007). The carpenter bee *Xylocopa pubescens* as an agricultural pollinator in greenhouses. *Apidologie*, 38(6), 508-517.
- Schweiger, O., Biesmeijer, J. C., Bommarco, R., Hickler, T., Hulme, P. E., Klotz, S., ... & Petanidou, T. (2010). Multiple stressors on biotic interactions: how climate change and alien species interact to affect pollination. *Biological Reviews*, 85(4), 777-795.
- Shavit, O., Dafni, A., & Ne'eman, G. (2009). Competition between honeybees (*Apis mellifera*) and native solitary bees in the Mediterranean region of Israel—Implications for conservation. *Israel Journal of Plant Sciences*, 57(3), 171-183.
- Soroker, V., Hetzroni, A., Yakobson, B., David, D., David, A., Voet, H., ... & Klinberg, E. (2011). Evaluation of colony losses in Israel in relation to the incidence of pathogens and pests. *Apidologie*, 42(2), 192-199.
- Steffan-Dewenter, I., & Kuhn, A. (2003). Honeybee foraging in differentially structured landscapes. *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 270(1515), 569-575.
- Stokstad, E. (2007). The case of the empty hives. *Science*, 316(5827), 970-972.
- The White House. (2014). *Fact Sheet: The Economic Challenge Posed by Declining Pollinator Populations*. Office of the Press Secretary.
- Tscharntke, T., Klein, A. M., Kruess, A., Steffan-Dewenter, I., & Thies, C. (2005). Landscape perspectives on agricultural intensification and biodiversity–ecosystem service management. *Ecology letters*, 8(8), 857-874.
- vanEngelsdorp, D., & Meixner, M. D. (2010). A historical review of managed honey bee populations in Europe and the United States and the factors that may affect them. *Journal of invertebrate pathology*, 103, S80-S95.
- Williams, N. M., Crone, E. E., T'ai, H. R., Minckley, R. L., Packer, L., & Potts, S. G. (2010). Ecological and life-history traits predict bee species responses to environmental disturbances. *Biological Conservation*, 143(10), 2280-2291.
- Winfree, R., Williams, N. M., Dushoff, J., & Kremen, C. (2007). Native bees provide insurance against ongoing honey bee losses. *Ecology letters*, 10(11), 1105-1113.
- Winfree, R., Aguilar, R., Vázquez, D. P., LeBuhn, G., & Aizen, M. A. (2009). A meta-analysis of bees' responses to anthropogenic disturbance. *Ecology*, 90(8), 2068-2076.
- Winfree, R., Bartomeus, I., & Cariveau, D. P. (2011). Native pollinators in anthropogenic habitats. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 42, 1-22.

#### וויסות מזיקים בתקלאות ומטרדים לאדם

גורן, מ. ואורטל, ר. (2006). פלישת הדגים. בשביל הארץ - מגזין טבע מורשת ונוף, 6.  
 דולב, ע., ופרבולוצקי, א. (2002). הספר האדום של החולייתנים בישראל. הוצאת ספרים ע"ש י"ל מאגנס.

הרשקוביץ, י., שניידור, י., שפירא, ע. והאן, א. (2013). פיתוח ממשק בר-קיימה לפעולות להדברת יתושים ולהגנה על המגוון הביולוגי במקווי מים בישראל. המלצות למדיניות. החברה להגנת הטבע, המשרד להגנת הסביבה ורשות הטבע והגנים.

חיל, א., סרקוביץ, ד. וגוטליב, י. (2013). הדברה משולבת של זבובים במשקי בעלי-חיים. אקולוגיה וסביבה 4 (1): 29-30.

לשם, י., פלג, א., צ'רט, מ., מוטרו, י., אלון, ד., מירום, ק., ורולין, א. (2014). המיזם הלאומי לשימוש בתנשמות ובזבובים כמדבירים ביולוגיים בחקלאות. סיכום השנה השביעית למיזם, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, המשרד להגנת הסביבה, החברה להגנת הטבע – קרן דוכיפת.

מוטרו, י. (2011). שימוש בתנשמות להדברת מכרסמים מזיקים בחקלאות (עבודת דוקטורט). ירושלים: אוניברסיטה העברית.

סבירסקי, א., ויסקי, מ., ויזהר, י. (2002). מוזיק עצי הפרי הסובטרופיים בישראל. הוצאת מועצת הפירות.

סקוטלסקי, א., ופרלמוטר, מ. (2012). געגועים לנחל - הנחלים ובתי הגידול הלחים בישראל: מצב קיים, ומתווה לשיקום הידרולוגי ואקולוגי. החברה להגנת הטבע.

פלג, א., לשם, י., צ'רט, מ., מוטרו, י., אלון, ד., מירום, ק., ... ורולין, א. (2016). המיזם הלאומי לשימוש בזבובים ובתנשמות כמדבירים ביולוגיים בחקלאות – סיכום שמונה שנות פעילות 2008-2015.

קורין, כ., צעדי, א., לובין, י., וניב, א. (2017). חקלאות בת קיימא ושמירת המיגוון הביולוגי: עושר מיני עטלפי חרקים וחשיבותם ככלי לממשק בר-קיימא בגידולי שלחין. דוח סופי של מחקר שנערך במימון המדען הראשי של משרד החקלאות.

רשות הטבע והגנים (2003). זכות הטבע למים. דרישות מים עבור גופי מים ובתי גידול לחים - מסמך מדיניות. רט"ג והמשרד להגנת הסביבה.

[אתר ביו-בי](#), נדלה בדצמבר 2018.

[אתר יד מרדכי-שירותי האבקה](#), נדלה בדצמבר 2018.

Argov, Y., Amitai, S., Beattie, G. A. C., & Gerson, U. (2002). Rearing, release and establishment of imported predatory mites to control citrus rust mite in Israel. *BioControl*, 47(4), 399-409.

Ben-Dov, E. (2014). *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* and its dipteran-specific toxins. *Toxins*, 6(4), 1222-1243.

Boyles, J. G., Cryan, P. M., McCracken, G. F., & Kunz, T. H. (2011). Economic importance of bats in agriculture. *Science*, 332(6025), 41-42.

Carver, S., Slaney, D. P., Leisnham, P. T., & Weinstein, P. (2015). Healthy wetlands, healthy people: mosquito borne disease. In *Wetlands and human health* (pp. 95-121). Springer, Dordrecht.

Chiel, E., & Kuslitzky, W. (2016). Diversity and abundance of house fly pupal parasitoids in Israel, with first records of two *Spalangia* species. *Environmental entomology*, 45(2), 283-291.

Coll, M., Shouster, I., & Steinberg, S. (2005). Removal of a predatory bug from a biological control package facilitated an augmentative program in Israeli strawberry. In *Proceeding Second International Symposium on Biological Control of Arthropods* (pp. 501-509).

EU-Commission (2009) EU action on pesticides: "our food has become greener" (factsheet). Directorate-general for health and consumers (Hrsg.). Brussels.

Gavish-Regev, E., Lubin, Y., & Coll, M. (2008). Migration patterns and functional groups of spiders in a desert agroecosystem. *Ecological Entomology*, 33(2), 202-212.

- Gavish-Regev, E., Rotkopf, R., Lubin, Y., & Coll, M. (2009). Consumption of aphids by spiders and the effect of additional prey: evidence from microcosm experiments. *BioControl*, 54(3), 341-350.
- Kahnonitch, I., Lubin, Y., & Korine, C. (2018). Insectivorous bats in semi-arid agroecosystems—effects on foraging activity and implications for insect pest control. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 261, 80-92.
- Lotan, A. (2011). *Developing an Integrated Pest Management Program for the Old World Date Mite *Oligonychus afrasiaticus* in the Southern Arava Valley* (doctoral dissertation). University of Haifa, Faculty of Science and Science Education, Department of Evolutionary and Environmental Biology.
- Maine, J. J., & Boyles, J. G. (2015). Bats initiate vital agroecological interactions in corn. *Proceedings of the National Academy of sciences*, 112(40), 12438-12443.
- Maoz, Y., Gal, S., Argov, Y., Domeratzky, S., Melamed, E., Gan-Mor, S., Coll, M., & Palevsky, E., (2014). Efficacy of indigenous predatory mites (Acari: Phytoseiidae) against the citrus rust mite *Phyllocoptruta oleivora* (Acari: Eriophyidae): augmentation and conservation biological control in Israeli citrus orchards. *Experimental and Applied Acarology*, 63(3), 295-312.
- Maoz, Y., Gal, S., Argov, Y., Coll, M., & Palevsky, E. (2011). Biocontrol of perseae mite, *Oligonychus perseae*, with an exotic spider mite predator and an indigenous pollen feeder. *Biological Control*, 59(2), 147-157
- Mendelssohn, H., & Yom-Tov, Y. (1999). *Fauna Palaestina - Mammalia of Israel*. The Israel Academy of Sciences and Humanities, Keter Press, Jerusalem.
- Mestre, L., Piñol, J., Barrientos, J. A., Espadaler, X., Brewitt, K., Werner, C., & Platner, C. (2013). Trophic structure of the spider community of a Mediterranean citrus grove: a stable isotope analysis. *Basic and applied ecology*, 14(5), 413-422.
- Motro, Y. (2011). Economic evaluation of biological rodent control using barn owls *Tyto alba* in alfalfa. J. Jacob, A. Esther (Eds.), 8th European Vertebrate Pest Management Conference: Book of Abstracts, Arno Brynda GmbH, Berlin, Germany (2011), pp. 79-80.
- Nyffeler, M., & Sunderland, K. D. (2003). Composition, abundance and pest control potential of spider communities in agroecosystems: a comparison of European and US studies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 95(2-3), 579-612.
- Opatovsky, I., Chapman, E. G., Weintraub, P. G., Lubin, Y., & Harwood, J. D. (2012). Molecular characterization of the differential role of immigrant and agrobiont generalist predators in pest suppression. *Biological Control*, 63(1), 25-30.
- Palevsky, E., Gal, S., & Ueckermann, E. A. (2009). Phytoseiidae from date palms in Israel with descriptions of two new taxa and a key to the species found on date palms worldwide (Acari: Mesostigmata). *Journal of Natural History*, 43(27-28), 1715-1747.
- Palevsky, E., Argov, Y., David, T. B., & Gerson, U. (2003). Identification and evaluation of potential predators of the citrus rust mite, *Phyllocoptruta oleivora*, in Israel. *Systematic and Applied Acarology*, 8(1), 39-48.
- Reiskind, M. H., & Wund, M. A. (2009). Experimental assessment of the impacts of northern long-eared bats on ovipositing *Culex* (Diptera: Culicidae) mosquitoes. *Journal of medical entomology*, 46(5), 1037-1044.
- Riechert, S. E., & Lockley, T. (1984). Spiders as biological control agents. *Annual review of Entomology*, 29(1), 299-320.



- Shaltiel, L., & Coll, M. (2004). Reduction of pear psylla damage by the predatory bug *Anthocoris nemoralis* (Heteroptera: Anthocoridae): the importance of orchard colonization time and neighboring vegetation. *Biocontrol Science and Technology*, 14(8), 811-821.
- Shapira, I., Gavish-Regev, E., Sharon, R., Harari, A. R., Kishinevsky, M., & Keasar, T. (2018). Habitat use by crop pests and natural enemies in a Mediterranean vineyard agroecosystem. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 267, 109-118.
- Spodek, M., Ben-Dov, Y., Mondaca, L., Protasov, A., Erel, E., & Mendel, Z. (2018). The cotton mealybug, *Phenacoccus solenopsis* Tinsley (Hemiptera: Pseudococcidae) in Israel: pest status, host plants and natural enemies. *Phytoparasitica*, 46(1), 45-55.
- Swirski, E., & Amitai, S. (1997). Annotated list of phytoseiid mites (Mesostigmata: Phytoseiidae) in Israel. *Israel Journal of Entomology*, 31, 21-46.
- Weintraub, P. G. (2001). Effects of cyromazine and abamectin on the pea leafminer *Liriomyza huidobrensis* (Diptera: Agromyzidae) and its parasitoid *Diglyphus isaea* (Hymenoptera: Eulophidae) in potatoes. *Crop Protection*, 20(3), 207-213.
- Weintraub, P. G., & Horowitz, A. R. (1997). Systemic effects of a neem insecticide on *Liriomyza huidobrensis* larvae. *Phytoparasitica*, 25(4), 283-289.

#### ויסות מחלות של חיות משק המועברות ע"י פרוקי רגליים

שבתאי, א., איתם, ה., דולב, ע., הנקין, ז. ת. ב. ס., נ. (2011). השפעת סוג המרעה, עשבוני וחורש, על קדחת קרציות בעדרי בקר לבשר: תפוצה, נגיעות ועמידות סביבתית. דו"ח מסכם, משרד החקלאות.

- Aziz-Boaron, O., Brettschneider, S., King, R., Gelman, B., & Klement, E. (2015). Seroprevalence of bovine ephemeral fever virus in domesticated and wildlife species during epidemic and inter-epidemic periods (2000–2009) in Israel. *Transboundary and emerging diseases*, 62(2), 183-187.
- Gavish, Y., Kedem, H., Messika, I., Cohen, C., Toh, E., Munro, D., ... & Hawlena, H. (2014). Association of host and microbial species diversity across spatial scales in desert rodent communities. *PLoS One*, 9(10), e109677.
- Kahana-Sutin E, Klement E, Lensky I, Gottlieb Y. (2017). High relative abundance of the stable fly *Stomoxys calcitrans* is associated with lumpy skin disease outbreaks in Israeli dairy farms. *Med Vet Entomol*. 2017 Jun;31(2):150-160. doi: 10.1111/mve.12217. Epub 2016 Dec 15. PMID: 27976815.
- Kedmi, M., Van Straten, M., Ezra, E., Galon, N., & Klement, E. (2010). Assessment of the productivity effects associated with epizootic hemorrhagic disease in dairy herds. *Journal of dairy science*, 93(6), 2486-2495.
- Kedmi, M., Herziger, Y., Galon, N., Cohen, R. M., Perel, M., Batten, C., ... & Klement, E. (2010). The association of winds with the spread of EHDV in dairy cattle in Israel during an outbreak in 2006. *Preventive veterinary medicine*, 96(3-4), 152-160.
- Müller, G. C., Hogsette, J. A., Kravchenko, V. D., Revay, E. E., & Schlein, Y. (2011). New records and ecological remarks regarding the tribe Stomoxyini (Diptera: Muscidae) from Israel. *Journal of vector ecology*, 36(2), 468-470.
- Saroya, Y., Gottlieb, Y. and Klement, E. (2021). The effect of ambient temperature fluctuations on *Culicoides* biting midges population dynamics and activity in dairy farms: a longitudinal study. *Med Vet Entomol*, 35: 68-78. <https://doi.org/10.1111/mve.12470>



- Schmidt, K. A., & Ostfeld, R. S. (2001). Biodiversity and the dilution effect in disease ecology. *Ecology*, 82(3), 609-619.
- Sonenshine, D. E., & Ziv, M. (1971). Ecological studies on ticks infesting sheep and small mammals in an unimproved semidesert pasture in Israel. *Journal of medical entomology*, 8(6), 683-686.
- Thompson, J. N. (1999). The evolution of species interactions. *Science*, 284(5423), 2116-2118.
- Tirosh-Levy S, Gottlieb Y, Apanaskevich DA, Mumcuoglu KY, Steinman A. (2018). Species distribution and seasonal dynamics of equine tick infestation in two Mediterranean climate niches in Israel. *Parasit Vectors*. 2018 Oct 16;11(1):546. doi: 10.1186/s13071-018-3093-0. PMID: 30326955; PMCID: PMC6192331.
- Tirosh-Levy, S., Gottlieb, Y., Mazuz, M.L., Savitsky, I., Steinman, A. (2020). Infection dynamics of *Theileria equi* in carrier horses is associated with management and tick exposure, *Ticks and Tick-borne Diseases*, 11:6. doi.org/10.1016/j.ttbdis.2020.101508.

#### ויסות איכות האוויר

- לוריא, מ. וחוב'. (2011). ועדת מומחים ציבורית בנושא מצב איכות האוויר בישראל (תוכנית לאומית- חוק אוויר נקי). דוח הוועדה. מוגש למשרד להגנת הסביבה.
- המשרד להגנת הסביבה. (2014). מזהמים סביבתיים והשפעתם על הבריאות. דפי מידע: אוזון, חלקיקים. המשרד להגנת הסביבה ומשרד הבריאות.
- קורדובה-ביז'ונו, ל. (עורכת). (2016). מצב איכות האוויר בישראל לשנת 2015. אגף איכות אוויר, המשרד להגנת הסביבה.
- Alonso, R., Vivanco, M. G., González-Fernández, I., Bermejo, V., Palomino, I., Garrido, J. L., ... & Artíñano, B. (2011). Modelling the influence of peri-urban trees in the air quality of Madrid region (Spain). *Environmental pollution*, 159(8-9), 2138-2147.
- Andersson-Sköld, Y., Thorsson, S., Rayner, D., Lindberg, F., Janhäll, S., Jonsson, A., ... & Granberg, M. (2015). An integrated method for assessing climate-related risks and adaptation alternatives in urban areas. *Climate Risk Management*, 7, 31-50.
- Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H., & Taylor, G. (1998). Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental pollution*, 99(3), 347-360.
- DOE (Department of the Environment). (1995). Biodiversity: the UK Steering Group Report. (Vol. 1, Meeting the Rio challenge: Vol. 2 Action plans.) HMSO, London.
- EPA (United States Environmental Protection Agency). (2018). Ground-level Ozone Pollution. Office of Air Quality Planning and Standards. Retrieved December 2018.
- Erell, E., & Tsoar, H. (1999). Spatial variations in the aeolian deposition of dust—the effect of a city: a case study in Be'er-Sheva, Israel. *Atmospheric Environment*, 33(24-25), 4049-4055.
- Guenther, A., Hewitt, C. N., Erickson, D., Fall, R., Geron, C., Graedel, T., ... & Pierce, T. (1995). A global model of natural volatile organic compound emissions. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 100(D5), 8873-8892.
- Kalogridis, C., Gros, V., Sarda-Esteve, R., Langford, B., Loubet, B., Bonsang, B., ... & Fernandez, C. (2014). Concentrations and fluxes of isoprene and oxygenated VOCs at a French Mediterranean oak forest. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 14(18), 10085-10102.

- Krasnov, H., Vodonos, A., Katra, I., Novack, V., & Friger, M. (2012). P-012: The Association between Dust Storms Exposure and Specific Mortality in Negev Desert, Israel. *Epidemiology*, 23(5S).
- Lee, D. S., Holland, M. R., & Falla, N. (1996). The potential impact of ozone on materials in the UK. *Atmospheric Environment*, 30(7), 1053-1065.
- Lelieveld, J., Berresheim, H., Borrmann, S., Crutzen, P. J., Dentener, F. J., Fischer, H., ... & Kormann, R. (2002). Global air pollution crossroads over the Mediterranean. *Science*, 298(5594), 794-799.
- Li, Q., Gabay, M., Rubin, Y., Fredj, E., and Tas, E. (2018). Measurement-based investigation of ozone deposition to vegetation under the effects of coastal and photochemical air pollution in the Eastern Mediterranean, *Sci Total Environ*, 645, 1579-1597, 10.1016/j.scitotenv.2018.07.037, 2018
- .Li, Q., Gabay, M., Rubin, Y., Raveh-Rubin, S., Rohatyn, S., Tatarinov, F., Rotenberg, E., Ramati, E., Dicken, U., Preisler, Y., Fredj, E., Yakir, D., and Tas, E. (2019). Investigation of ozone deposition to vegetation under warm and dry conditions near the Eastern Mediterranean coast, *Sci Total Environ*, 658, 1316-1333, 10.1016/j.scitotenv.2018.12.272, 2019.
- Mills, G., & Harmens, H. (2011). *Ozone pollution: A hidden threat to food security*. NERC/Centre for Ecology & Hydrology.
- Nowak, D. J. (2002). The effects of urban trees on air quality. *USDA Forest Service*, 96-102.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban forestry & urban greening*, 4(3-4), 115-123.
- Oesch, S., & Faller, M. (1997). Environmental effects on materials: The effect of the air pollutants SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, NO and O<sub>3</sub> on the corrosion of copper, zinc and aluminium. A short literature survey and results of laboratory exposures. *Corrosion Science*, 39(9), 1505-1530.
- Richards, N. A. D., Arnold, S. R., Chipperfield, M. P., Miles, G., Rap, A., Siddans, R., ... & Hollaway, M. J. (2013). The Mediterranean summertime ozone maximum: global emission sensitivities and radiative impacts. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 13(5), 2331-2345.
- Rosenfeld, D., Lohmann, U., Raga, G. B., O'dowd, C. D., Kulmala, M., Fuzzi, S., ... & Andreae, M. O. (2008). Flood or drought: How do aerosols affect precipitation?. *science*, 321(5894), 1309-1313.
- Ruijgrok, W., Davidson, C. I., & Nicholson, K. W. (1996). Dry deposition of particles: Implications and recommendations for mapping of deposition over Europe. *Tellus B*, 48(5), 710-710.
- Singer, A., Ganor, E., Fried, M., & Shamay, Y. (1996). Throughfall deposition of sulfur to a mixed oak and pine forest in Israel. *Atmospheric Environment*, 30(22), 3881-3889.
- WHO (World Health Organization). (2018). Ambient (outdoor) air quality and health. Fact sheet. Retrieved December 2018.
- QUARG (Quality of Urban Air Review Group). (1996). Airborne Particulate Matter in the United Kingdom: Third Report of the Quality of Urban Air Review Group, Birmingham. Prepared at the request of the Department of the Environment.
- Zaady, E., & Offer, Z. Y. (2010). Biogenic soil crusts and soil depth: a long-term case study from the Central Negev desert highland. *Sedimentology*, 57(2), 351-358.