

מגוון ביולוגי ותהליכים אקולוגיים תומכים – הפרק המלא

מחברים מובילים: יעל גבריאל, יונתן בלמקר

עוזרת מחקר: אילאיל אטד-פרת

מחברים תורמים: און כרובי, אילאיל אטד-פרת, אלי צעדי, אפרת גביש, בועז שחם, בלה גליל, דרור מינץ, יוסי הדר, יורם יום טוב, מנחם גורן, מרגרטה וולצ'ק, נטע דורצ'ין, נפתלי גולדשלגר, סגולה מוצפי, עמיר גבעתי, עמית דולב, ערן לוין, פרידה בן-עמי, רועי דור, רחלי עינב

תוכן עניינים

1. מבוא – על הקשר בין מגוון ביולוגי ותהליכים אקולוגיים תומכים.....	2
2. מצב ומגמות המגוון הביולוגי בישראל.....	7
2.1. נתונים כלליים על מצב ומגמות המגוון הביולוגי בישראל.....	7
2.2. תפקיד המגוון הביולוגי באספקת שירותי מערכת אקולוגית בישראל.....	8
3. תהליכים אקולוגיים תומכים ורווחת האדם.....	11
3.1. רקע תיאורטי.....	11
3.2. יצרנות ראשונית.....	11
3.3. מחזור המים.....	15
3.4. יצירה וקיום של קרקע.....	20
3.5. מחזור חומרי הזנה.....	28
3.6. אספקת בית גידול.....	31
4. מקורות.....	33

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:](#) גבריאל, י' ובלמקר, י' (עורכים). (2018). [מגוון ביולוגי ותהליכים אקולוגיים תומכים – הפרק המלא](#).

1. מבוא – על הקשר בין מגוון ביולוגי ותהליכים אקולוגיים תומכים

התמונה המוחשית ביותר לקשר שבין מגוון ביולוגי לתפקוד המערכת האקולוגית שורטטה על ידי פול ואנה ארליך בהקדמה לספרם "הכחדה" (Ehrlich & Ehrlich, 1981). הם מדמים את המינים הביולוגיים השונים לברגים שמחזיקים כנפי המטוס - הוא כדור הארץ, עליו כולנו טסים. במקביל, חברת התעופה משלמת ל"חולץ ברגים" להוציא את הברגים מכנפי המטוס אחד אחד ולמכור אותם ליצורכי רווח. חולץ הברגים מרגיע אותנו: "אל דאגה", הוא מבטיח. "אני בטוח שהיצרן ייצר את המטוס חזק ממה שהוא צריך להיות, על כן לא ייגרם שום נזק. חוץ מזה, כבר הוצאתי ברגים רבים מכנף זו והיא עדיין לא נפלה. [...] למעשה, אני עומד לטוס יחד איתכם, כך שבאמת אין לכם על מה לדאוג." (Ehrlich & Ehrlich, 1981)

לכולנו מובן מאליו שאנחנו נושמים חמצן, אוכלים מזון, מפרישים פסולת, וחיים בעולם שמסוגל לספק את צורכי הקיום הבסיסיים שלנו. עד כמה אנחנו מודעים לכך שהתנאים על פני כדור הארץ, כמו גם סיפוק צורכי החיים עליו, הם תוצאת של קיומם של מיליוני מינים אחרים של יצורים ושל יחסי הגומלין שלהם זה עם זה ועם הסביבה הפיסית בה הם חיים?

פרק זה עוסק בתשתית המגוון הביולוגי והתהליכים האקולוגיים עליהם מבוססים כל שירותי המערכות האקולוגיות. בעמודים הבאים נעסוק בשאלה כיצד המגוון הביולוגי משפיע על התהליכים במערכת האקולוגית וכתוצאה מכך גם על שירותי המערכת האקולוגית לאדם. לדוגמה, האם יכול השקדים יהיה רב יותר אם מגוון המאביקים במטע יגדל? האם היער יאגור יותר פחמן אם מגוון העצים יהיה רב יותר? האם פוריות הקרקע תגדל אם המגוון הגנטי של המיקרואורגניזמים בה יהיה רב יותר? - שאלות אלו הן במוקד השיחה הסביבתי כבר יותר משני עשורים, במאמץ להבין כיצד אבדן המגוון הביולוגי משפיע על המערכות האקולוגיות ועל רווחת האדם.

לפני שנצלול לעומק הסוגיה של הקשר בין המגוון הביולוגי ומגוון התהליכים במערכת האקולוגית ובין שירותי המערכת האקולוגית, נסקור בקצרה כל אחד ממושגים אלו והקשר שלו לאחרים; ונתחיל עם המגוון הביולוגי. עד לשנת 1986 המונח מגוון ביולוגי לא היה קיים; השתמשנו במושגים 'טבע', 'שימון ויער עד', 'פלאי הבריאה' ועוד מגוון מונחים שהתייחסו לאותה שכבה דקיקה של חיים העוטפת את כדור הארץ - הביוספירה. אך באותה השעה אותה הביוספירה עברה תהליכי שינוי דרמטיים כתוצאה מפעילותנו - פעילות האדם. פיתוח כלכלי חסר תקדים בתולדות האנושות ובימי כדור הארץ הביא לשיפור בחיי מיליוני בני אדם, אך גם גבה מחיר כבד מהסביבה: הרס, שינוי וזיהום בתי גידול, דלדול וזיהום משאבי מים, הכחדת מינים והתפשטות מינים פולשים, ניצול יתר ושינויי אקלים. מדענים שעקבו אחר השינויים הללו בדאגה רבה מצאו לנכון באמצע שנות השמונים של המאה ה-20 לטבוע מונח חדש אשר מתייחס לחיים על פני כדור הארץ - 'המגוון הביולוגי'. מטבע לשון זו אינה מונח חלופי לטבע או לביוספירה, אלא מבטאת שינוי בתפיסת העולם ביחס אליהם. היא מחדשת בשני היבטים מרכזיים: הראשון הוא ראיית הטבע בגישה מערכתית, ויחוס חשיבות רבה לקשרי הגומלין והתלות ההדדית בין היצורים (interconnectedness), תפקודם במערכת האקולוגית ותפקוד כלל המערכת כישות מורכבת. ראוי לציין כי תפיסה זו מתייחסת לכלל היצורים, ללא הבדל גודל, יופי (על פי אמת מידה אנושית) או קבוצה טקסונומית. ההיבט השני בו מחדשת תפיסת המגוון הביולוגי הוא הזרקור בו היא מאירה את תרומת המגוון הביולוגי לתהליכים המתקיימים במערכת האקולוגית - אותם תהליכים מקיימי חיים, ולשירותים שהיא מספקת לאדם (Takacs, 1966).

המגוון הביולוגי מתייחס לשונות במספר רמות ארגון:

שונות גנטית בתוך המין - למאפיין זה חשיבות רבה ביכולת של מינים לשרוד, במיוחד כאשר תנאי הסביבה משתנים. דוגמה לשונות הגנטית בתוך מין היא זני הכלבים או זני העגבניות, אשר משניהם אנו נהנים.

מגוון מינים - עושר המינים והשפע היחסי של פרטים בכל מין (הנדירות או הנפוצות) במקום מסוים.

מגוון מערכות אקולוגיות - ההטרוגניות האקולוגית / הכתמיות ביחידת שטח. יחידת שטח זו יכולה להיות גדולה מאוד, כגון כדור הארץ כולו, או קטנה יחסית כמו חורש ים תיכוני במקום מסוים.

מגוון תהליכים - עושר התהליכים האקולוגיים התומכים, האחידות והפיזור שלהם בתוך החברה הביולוגית. למגוון התהליכים חשיבות בשירותי המערכת האקולוגית.

המושג השני המרכזי בפרק זה הוא **התהליכים האקולוגיים התומכים**. אלו הם התהליכים שמוסחים את שטפי האנרגיה והחומרים במערכת האקולוגית. תהליכים אלו הכרחיים לקיומם של כל שירותי המערכת האקולוגית האחרים ולכן מכונים במקרים רבים בספרות גם "שירותי תמיכה" (Millenium Ecological Assessment, 2005). הם נובעים מהפעילות של טריליונים של יצורים חיים אשר משנעת, בקנה המידה הגלובלי, מאות אלפי טונות של יסודות ותרכובות בין המים, האוויר והיבשה. הפעילות הביולוגית הזו מקיימת את התשתית לחיים: החל מיצרנות ראשונית - אצירת אנרגיית השמש וקיבוע פחמן אטמוספרי בתרכובות אורגניות עתירות אנרגיה בתהליך הפוטוסינתזה, דרך ייצור וקיום הצומח והקרקע התומכת בו ועליה הוא גדל, קיום מחזור המים ומחזורי החומרים המשמשים גם חומרי הזנה לצמחים (המחזוריים הביו-גיאוכימיים), ויסות הרכב האטמוספירה והאקלים ועוד (Lovelock, 1979). במילים אחרות, המערכת האקולוגית, דרך תפקודה הבסיסים ביותר - יצרנות יחסי גומלין בין היצורים ובינם לבין סביבתם, תומכת ומאפשרת את אספקת שירותי המערכת האקולוגית.

שירותי המערכת האקולוגית הם התהליכים של המערכת האקולוגית שהם בעלי חשיבות לקיום האדם ורווחתו. במקרים רבים, שירותי המערכת האקולוגית הם תוצאה של מספר תהליכים אקולוגיים תומכים. לדוגמה, היכולת הפוטוסינתטית מאפשרת לאגור אנרגיה ופחמן בתרכובות אורגניות ומניחה את הבסיס לקיום החיים. כדי לסבך עוד קצת את תמונת השירותים האקולוגיים, על פני היבשה, היכולת הפוטוסינתטית תלויה בתהליכי הפירוק של החומר האורגני שמאפשרים קיום קרקע פורייה, ביכולת של המערכת הביולוגית לשמר קרקע זו ולמנוע סחף ועבור כמחצית ממיני הצמחים, גם בהאבקה על ידי בעלי חיים. בנוסף, היכולת הפוטוסינתטית תורמת לשירות של ויסות ההרכב של האטמוספירה ובקרת האקלים, כשהיא מסלקת את הפחמן דו חמצני מהאטמוספירה. כך למעשה קיים מארג סבוך של יחסי גומלין בין תפקודים ושירותים שונים של המערכת האקולוגית.

השפעת הפעילות האנושית של הפיתוח הפיזי על הטבע ואבדן מגוון ביולוגי מחייבים תיעוד של המגוון הביולוגי ומחקר שיאפשר להבין טוב יותר כיצד הוא משפיע ומעורב בתפקודי המערכת האקולוגית ובשירותים שהיא מספקת לאנושות (Wolters et al., 2000; Hooper et al., 2005; Balvanera et al., 2006; Duffy, 2008; Fischer et al., 2008; Jax, 2010; Cardinale, 2012; Hooper et al., 2012). בעשרות השנים האחרונות התקיימו מספר יוזמות בינלאומיות ומאות מחקרים במרבית המערכות האקולוגיות על פני כדור הארץ אשר מנסים להתמודד עם אתגרים עצומים אלו. השאלות העיקריות שעומדות ועדיין נדונות מתייחסות לקשר שבין המגוון הביולוגי, התהליכים האקולוגיים התומכים ושירותי המערכת האקולוגית - כיצד המגוון הביולוגי מאפשר את התהליכים במערכת האקולוגית ומשפיע עליהם? ומה ההשלכות של כך על שירותי המערכת האקולוגית מהם אנחנו נהנים?

מארג המזון מתאר את יחסי ההזנה במערכת האקולוגית, או במילים אחרות מי ניזון ממי.

הרמות הטרופיות מייצגות את הרמות של מעבר האנרגיה במארג המזון. בבסיס מארג המזון הרמה הטרופית הראשונה של יצרנות ראשונית, ממנה ניזונים אוכלי צומח ופיטופלנקטון הנמצאים ברמה הטרופית השנייה. ברמה הטרופית השלישית טורפים הניזונים מאוכלי צומח וברמה הטרופית הרביעית טורפי טורפים (טורפי על).

עבודות המחקר שנעשו עד כה על המגוון הביולוגי הובילו למספר תובנות מוסכמות על הקהילה המדעית (Cardinale, 2012):

1. **מגוון רב תורם ליעילות שבה מערכות אקולוגיות קולטות משאבים ביולוגיים, מייצרות ביומסה, מפרקות וממחזרות נוטריאנטים חיוניים.** סקירות מחקרים מצביעות על כך שככלל, צמצום במספר הגנים, המינים והקבוצות התפקודיות של יצורים הפחיתו את היעילות שבה המגוון הביולוגי של המערכת האקולוגית הטמיע חומרי הזנה (נוטריינטים), מים ואור בביומסה (חומר ביולוגי חי) (Balvanera, 2006; Cardinale, 2006; Worm, 2006; Stachowicz et al., 2007; Cadotte et al., 2008; Srivastava, 2009; Quijas et al., 2010; Cardinale, 2011; Flynn et al., 2011). השפעות המגוון עקביות לרוחב קבוצות שונות של יצורים, לרוחב רמות טרופיות של מארג המזון, ובמערכות אקולוגיות שונות. כמוכן שישנן גם חריגים להכללה זו.
2. **מגוון רב מגביר את היציבות של תפקוד המערכות האקולוגיות לאורך זמן.** בספרות המחקר תוארו צורות רבות של יציבות של המערכת האקולוגית, וכנראה שאין סיבה להניח שהמגוון הביולוגי יתמוך בכל הצורות של היציבות (Ives & Carpenter, 2008). עם זאת, הולכות ומצטברות יותר ויותר עדויות לכך שתפקודי המערכת האקולוגית, כגון קליטת משאבים וייצור ביומסה יציבים יותר לאורך זמן ככל שהמגוון הביולוגי שלהם גבוה יותר (Cottingham et al., 2011; Jiang & Pu, 2009; Hector, 2010; Campbell et al., 2001).
3. **ככל שקצב אבדן המגוון מואץ יותר, כך ניכרת יותר השפעת צמצום המגוון על תפקוד המערכת האקולוגית.** ההשפעה של צמצום המגוון הביולוגי על התהליכים של המערכת האקולוגית אינה לינארית כך שקצב השינוי גדל ככל שהאבדן של המגוון גדול יותר. במחקרים בהם נבחן הקשר בין המגוון לתהליכים במערכת האקולוגית נמצא כי בשלבים הראשונים של צמצום המגוון ההשפעה על התהליכים היא יחסית קטנה. ככל שעולה אבדן המגוון קצב ההשפעה גובר. לדוגמה, צמצום קטן יחסית במגוון מאביקים עשוי להיות לא ניכר, אך צמצום גדול יותר של מגוון המאביקים יכול להשפיע במידה רבה על שיעור ההאבקה והצומח. יתכנו גם נקודות קריסה של המערכת האקולוגית, בהן התפקוד בבת אחת ידרדר. בחלק גדול מהמקרים נקודות קריסה אלו אינן ניתנות לחיזוי מראש (Cardinale, 2006, 2011; Schmid 2009).
4. **מערכות עם מגוון ביולוגי רחב יצרניות יותר מחברות לא מגוונות.** היצרנות שלהן גבוהה יותר כיון שהן מכילות מיני מפתח בעלי השפעה גדולה על היצרנות, ומפני שקיימים הבדלים בתכונות תפקודיות בין יצורים שמגדילות את סך כול יכולת לכידת המשאבים (Loreau, 2001). המחקר בעשורים האחרונים הראה שמידת התפקוד של המערכת האקולוגית תלוי גם בזהות המינים וגם במידת הגיוון שלהם (Cardinale, 2011).
5. **מגוון לרוחב רמות טרופיות (רמות שונות של פירמידת המזון) יכול להשפיע באופן חזק יותר על תפקודי המערכת האקולוגית מאשר מגוון ברמה טרופית אחת (רמה אחת של פירמידת המזון).** מחקרים רבים מצביעים על כך שיחסים בין מינים במארג המזון חשובים ביותר בתפקוד המערכות האקולוגיות ושלבן צרכנים במעלה שרשרת

המזון יכולים להשפיע במורד מארג המזון על הביומסה הצמחית (Shurin, 2002; Estes, 2011). אבדן של טורף-על אחד או יותר יכולים להפחית את הביומסה הצמחית במידה דומה ואף יותר מזו שהייתה צפויה אם השטח הטבעי ובו חברת צומח מגוונת היה מוסב לשטח גידול חקלאי אחיד (Cardinale, 2011). אבדן צרכנים יכול גם לשנות את מבנה הצמחייה, תדירות שריפות ואפילו לעודד מגיפות במגוון מערכות אקולוגיות (Estes, 2011).

6. במקרים מסוימים תכונות תפקודיות של מינים מסוימים היא משמעותית ובעלת השפעה רבה על העוצמה של התהליכים במערכת האקולוגית. המידה שבה תהליכים אקולוגיים משתנים לאחר הכחדת מינים תלויה במידה רבה באלו תכונות ביולוגיות נעלמו (Diaz, 2001; Hooper, 2005). לדוגמה, יש משמעות שונה להיעלמות של מינים בעלי יצרנות גבוהה לעומת מינים עם יצרנות נמוכה. כימות של מגוון התכונות התפקודיות ביחס לתפקודי המערכת האקולוגית ולסיכון להכחדה הם נתונים חשובים מאד ותחום מחקר מתפתח (Diaz, 2001; Suding, 2008). במקרים אלו זהות המינים או התכונות שנכחדו חשובה מעצן הירידה במגוון כשלעצמו.

לאור תובנות אלו, נשאלת השאלה כיצד המגוון הביולוגי ותהליכים המתקיימים במערכת האקולוגית משפיעים על שירותי המערכת האקולוגית שאנחנו נהנים מהם. במהלך 20 השנים האחרונות, תחום המחקר של שירותי המערכת האקולוגית הלך והתפתח (Millenium Ecological Assessment, 2005). אנו יודעים כיום כי:

- מערכות אקולוגיות טבעיות הוסבו לשטחי חקלאות המהווים מערכות אקולוגיות יעילות יותר באספקת שירותים מסוימים, אך גם פשוטות הרבה יותר.
- גידול מין אחד או מספר מינים מצומצם לטובת שירות אספקה מסוים, במיוחד מזון, סיבים וייצור דלק ביולוגי, פישט באופן ניכר את המבנה והתפקוד של המערכת ויצר מערכות אקולוגיות חסרות גיוון כגון: שדות חיטה וטרסות אורז, מטעי תפוחים ופרדסי תפוזים.
- החלפת המגוון הביולוגי הטבעי במגוון החקלאי אמנם הגביר חלק משירותי האספקה אך במקביל הפחית משירותים אחרים, במיוחד משירותי הויסות (Foley et al., 2005).
- התמרת מערכות אקולוגיות טבעיות למערכות חקלאיות גרמה לאובדן גדול של מגוון ביולוגי (Millenium Ecological Assessment, 2005).

סקירה מקיפה ביותר של מחקרים שעסקו בחשיבות המגוון עצמו לשירותי אספקה וויסות בלבד (ללא שירותי תרבות ורוח) העלתה את הממצאים הבאים (Cardinale, 2012):

1. קיימות כיום מספיק עדויות כי מגוון משפיע ישירות על שירותי אספקה וויסות:

שירותי אספקה -

- א. היכול של גידולים מסחריים גדל עם העלייה במגוון הגנטי.
- ב. הייצור של עץ ביערות נטע-אדם גדל עם העלייה במגוון מיני עצים.
- ג. כמות המספוא גדלה עם העלייה במגוון מיני צמחים במישורי עשב.
- ד. יציבות יבולי הדגה גדלה עם העלייה במגוון מיני הדגים.

שירותי ויסות -

- א. העמידות של חברות צומח לפלישות ביולוגיות על ידי צמחים אקזוטיים גדלה עם העלייה במגוון מיני הצמחים.
- ב. הרגישות לפתוגנים והנזק ממחלות צמחים הנגרמות על ידי וירוסים ופטריית קטנים ככל שחברות הצומח מגוונות יותר.

- ג. הטמעת הפחמן בצמחייה מעל הקרקע גדלה עם העלייה במגוון הצמחים.
- ד. זמינות נוטריאנטים וכמות חומר אורגני בקרקע עולה עם העלייה בעושר מיני הצמחים.
2. ישנם שירותי מערכת אקולוגית רבים לגביהם אין מספיק מידע כדי להעריך את הקשר בין המגוון כשלעצמו והשירות. פעמים ההשפעה מעורבת ופעמים הקשר למגוון הביולוגי - לשונות הגנטית, מגוון המינים והטרוגניות בית הגידול אינו מוגדר דיו. לדוגמה, ידוע הקשר בין מגוון הדגים ליציבות שלל המדגה אך אין כמעט מידע על השפעת מגוון מיני הדגים על מימדי השלל (Worm, 2006), או ההשפעה של המגוון כשלעצמו על ויסות שיטפונות (Millenium Ecological Assessment, 2005), אף כי כל אלו הם שירותים בהפקתם מעורב המגוון הביולוגי (Cardinale, 2012). ניתן להסביר פער זה כתוצאה מאופן הערכת השירות; במקרים רבים השירות הוערך לאחר הרס המערכת כולה ולא רק לאחר ירידה במגוון הביולוגי.
3. עבור מספר מצומצם של שירותי מערכת אקולוגית, העדויות מצביעות על קשר הפוך בין המגוון לבין השירות (Cardinale, 2012):
- א. טיהור מים אינו גדל ככל שהמגוון הביולוגי גדל.
- ב. בקרה ביולוגית של מזיקי צמחים על ידי האויבים שלהם מושפעת במקרים רבים לרעה מהמגוון, כלומר יכולה להיות עליה בשכיחות המזיקים כתוצאה מעלייה במגוון האויבים (טורפים, פרזיטואידים ופתוגנים), כנראה בגלל יחסי גומלין מזיקים בין האויבים השונים.
- עם זאת, הבנתנו את הנושא של שירותי המערכת האקולוגית וכיצד הוא מושפע ממגוון מינים נמצא עדיין בשלבים ראשוניים. עדיין נשאלות שאלות לגבי מה מודדים ולא פחות חשוב מכך כיצד מודדים. שירותים רבים נמדדים על ידי כימות הנזק בהעדרם, אך מה קורה כאשר הם מתקיימים? בנוסף, ישנם שירותים רבים אחרים, כגון חלק משירותי הוויסות ומשירותי התרבות, שעד כה הם כלל לא ניתנים למדידה.

2. מצב ומגמות המגוון הביולוגי בישראל

2.1 נתונים כלליים על מצב ומגמות המגוון הביולוגי בישראל

2.1.1 רקע

ישראל היא אחת המדינות הצפופות ביותר בעולם (למעלה משבעה מיליון תושבים בתחומי הקו הירוק ועוד מספר בלתי ידוע של פלשתינאים המוערך בין 2-3 מיליון). יש בה למעלה מאלף יישובים (ערים, מועצות מקומיות, קיבוצים, מושבים ועוד) קימת בה חקלאות מפותחת, ומערכת ענפה של כבישים. שטחים נרחבים בבתי גידול שונים, בעיקר בתי גידול לחים וחולות, מנוצלים על ידי האדם ושינוי לחלוטין את אופיים (Yom-Tov, 2013). למשל, פעולות נטיעה של הקרן הקיימת לישראל בספר המדבר (למשל באזור יתיר ובצפון הנגב) המשנות בתי גידול טבעיים לאחרים שאינם מותאמים לחי המקומי. כתוצאה מכך, שטחי המחיה הזמינים לבעלי חיים קטנו במידה רבה. רבים ממיני היונקים אינם יכולים להמנע ממגע עם האדם או עם מעשה ידיו, שדות ומטעים, מבנים, גדרות ועוד. לעתים קרובות יותר ויותר גם שטחים הנתפסים לכאורה כשטחים פתוחים הזמינים לחיות בר אינם כאלה בגלל התפשטות התופעה של גידור כבישים מהירים, מטעים, כרמים, יישובים ומתקנים ביטחוניים ואחרים כהגנה מפני חיות בר ומפני בני אדם, כולל מטיילים. חלק ממיני בעלי החיים והצמחים הסתגלו לנוכחות האדם והפכו לקומנסלים (תן זהוב, שועל מצוי, עטלף פרי, עטלפון לבן-שוליים, אשף מצוי, עכבר בית וחולדות) ואף למזיקים (תן זהוב, שועל מצוי), ואילו אחרים סובלים מפעולות האדם ומספריהם קטנים עד לסכנת הכחדה (נמר, קרקל, לוטרה, שועל המדבר).

2.1.2 גורמים מחוללי שינוי

בישראל הגורם מחולל השינוי העיקרי במגוון הביולוגי ובתהליכים האקולוגיים התומכים הוא אבדן בתי גידול טבעיים. אובדן בתי הגידול קשור להרס, קיטוע וזיהום שלהם, הנגרמים מתהליכי הפיתוח המואץ, ובעיקר עיור והגדלת שטחי החקלאות על חשבון שטחים טבעיים. לאובדן בתי הגידול הטבעיים השפעה שלילית ישירה על מגוון המינים ועל התהליכים האקולוגיים התומכים. דו"ח מצב הטבע (שורק ופרבולוצקי, 2016) מראה תהליך של שינוי בשימוש בשטחי הקרקע משטחים פתוחים לשטחים בשימוש האדם בקצב ממוצע של 10 – 13 קמ"ר בשנה לאורך השנים 2009-2016. השטחים הבנויים הם בעיקר מקו באר שבע וצפונה, שם הם מהווים כ-18% מהשטח, בעוד שמדרום לבאר שבע השטחים הבנויים תופסים מעט יותר מ-4% מהשטח. באופן יחסי, שיעור התמרת השטחים הפתוחים במרכז ישראל ובצפונה גבוה פי שלושה מאשר בדרומה. בנוסף, מידת הקיטוע של השטחים הפתוחים בצפון הארץ ובמרכזה רבה, ובעקבות כך גם נפגעת יכולת המעבר של בעלי חיים וצמחים. לעומת זאת, בדרום ישראל ישנם שטחים גדולים ורציפים.

בנוסף, דו"ח מצב הטבע 2016 מצביע על השפעות של היישובים והתשתיות על המגוון הביולוגי. עודפי נגר מעודדים צומח בסביבות יישובים, במיוחד באזורים הצחיחים יותר.

מגוון המינים הישראלי מושפע רבות ממינים פולשים, כשמינים מקומיים חווים ירידה בשכיחות בעקבות הפלישה. אולם, ההשפעה של הפלישות על התהליכים האקולוגיים התומכים מורכבת ותלויה באקולוגיה של המינים הפולשים. תחרות בין מינים מקומיים ומינים פולשים, במיוחד של צמחים ועופות, ודחיקה של המקומיים מתועדת בסמיכות ליישובים (שורק ופרבולוצקי, 2016).

בישראל מתחילים להופיע שינויים אקולוגיים כתוצאה משינויי האקלים, למשל, על פני העשורים האחרונים שכיחות מיני דגים בים התיכון שמוצאם באזורים קרים יורדת (Givan et al., 2018). גם הצומח המעוצה שהוא מרכיב מפתח במרבית בתי הגידול מראה שינויים ב-15 השנים האחרונות שנובעים כנראה משינויי אקלים (שורק ופרבולוצקי, 2016). נמצא כי קיימת ירידה בצפיפות הצומח המעוצה בעיקר בדרום הארץ, אך גם בחלק מיערות הכרמל ובאזורים מצומצמים בגליל העליון. לעומת זאת, המגמה הכללית ברוב הארץ היא של עלייה בכיסוי הצומח המעוצה. דו"ח המארג 2016 מצביע על כך שלמרות הירידה במשקעים בעשור 2006-2016, חלק משמעותי מהיערות והחורשים הטבעיים והנטועים לא נפגעו כתוצאה מתהליכי ההתייבשות.

שינויים אלו משפיעים ישירות ובעקיפין על התהליכים האקולוגיים התומכים, על המגוון הביולוגי ועל תפקוד המערכות האקולוגיות ולכן גם על השירותים שהן מספקות. **גורמים מחוללי שינוי שונים משפיעים באופן שונה על קבוצות טקסונומיות שונות (איור 2).**

צייד אינו תחביב נפוץ בארץ, ומרבית הציידים המורשים הם ערבים ודרוזים שהם מיעוט באוכלוסיית ישראל. עם זאת, צייד בלתי חוקי של צבי ארצישראלי באזור הים-תיכוני ושל צבי המדבר בצפון הנגב עלול לסכן אוכלוסיות מסוימות של מינים אלה. צייד בלתי חוקי אחר מתקיים על ידי פועלים מתאילנד (ובשנים האחרונות גם מסין), הצדים מיגוון מינים גדול, כולל מינים רבים של יונקים. אוכלוסיית חזיר הבר בדרום ים המלח היא ייחודית, וקרוב לוודאי שצייד על ידי פועלים תאים מסכן את קיומה.

כלבים וחתולים מהווים סיכון הולך וגדל ליונקים וכן לחולייתנים אחרים. תופעה זו הולכת ומתפשטת עקב הגידול במספרן של חיות המחמד, ושחרורן או סילוקן של רבות מהן לטבע על ידי בעליהן. כלבים משוטטים צדים ארנבות, צבאים, יעלים יחמורים ויונקים אחרים, וחתולים צדים יונקים קטנים וחיות בר אחרות, כעופות וזוחלים. הבעיה מחמירה בגלל חוסר ההבנה השוררת בציבור לגבי הדרך בה פועלות מערכות אקולוגיות ולגבי העובדה שחיות מחמד אינן חלק מהטבע אלא גורם הפועל לרעת חיות הבר.

2.2. תפקיד המגוון הביולוגי באספקת שירותי מערכת אקולוגית בישראל

2.2.1. פערי ידע

במסגרת פרויקט זה נעשה ניסיון להעריך את מידת תרומתן הישירה של קבוצות טקסונומיות שונות לשירותי המערכות האקולוגיות של ישראל (איור 1). בגלל פערי הידע הרבים (ראו להלן) מדובר בניסיון ראשוני אשר נועד בעיקר כדי לערר דיון ולהוות בסיס לזיהוי פערי ידע ספציפיים ולהמשך עבודה בנושא.

פערי ידע רבים קיימים בכל הנוגע למגוון הביולוגי, לתהליכי התמיכה האקולוגיים ולשירותי המערכת האקולוגית. מוסכם כי אנחנו מכירים רק חלק מזערי מהמינים שמרכיבים את המגוון הביולוגי בישראל. לדוגמה, מעט ידוע על המגוון הביולוגי בתוך הקרקע שמעורב בתהליכים אקולוגיים תומכים רבים כגון יצירת קרקע ופוריותה, מיחזור חומרי הזנה, והמחזוריים הביו-גאוכימיים. בישראל אנו עדים לאבדן מומחיות זואולוגית ובוטנית, המהווה יסוד למחקר אקולוגי, התנהגותי ואבולוציוני. אבדן זה צפוי להגביל את יכולתם של המדענים לספק את הידע והמומחיות הנדרשת להתמודדות עם נושאים כגון הערכות לשינויי אקלים, פיתוח, ניהול קרקעות, שמירת הסביבה, בריאות הציבור וחקלאות. לשירותי מערכת אקולוגית רבים אין מספיק מידע כדי להעריך את הקשר בין ממדי המגוון ובין השירות שהוא מספק. כך יכולתנו לכמת את כלל שירותי המערכת האקולוגית ולהבין כיצד שירותים אלו מושפעים ממגוון המינים נמצאת עדיין מוגבלת. קיימים פערי ידע משמעותיים לגבי התהליכים האקולוגיים התומכים, ונחוץ מחקר

נוסף כדי להבין איזה רמה של התהליכים אקולוגיים תומכים דרושה כדי למקסם שירותי מערכת שונים. בנוסף, קיים פער לגבי הבנת השונות בזמן ובמרחב של התהליכים האקולוגיים התומכים. לבסוף, לא תמיד ברור כיצד שינויים מעשי ידי אדם, כגון שינויי ביעוד קרקע ושינוי אקלים, ישפיעו על התהליכים האקולוגיים התומכים (איור 2).

השירות								
פטריות	צמחים עליליים	חרקים	חסרי חוליות מימיים	דגים	דו-חיים	זוחלים	עופות	יונקים
●	●							
	●	●						●
●	●		●	●			●	●
	●							
●	●	●	●	●	●	○		○
●	●	●	●	●	●			○
	●							
	●							
		●					○	○
	●	●	●	●	●	○	○	○
	●							○
	●							
	●			●	●			
	●	●						○
	●	●	●	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●	●	●	●
	●	●	●	●	●	●	●	●



איור 1: הערכת תרומתן הישירה של קבוצות טקסונומיות שונות לשירותי מערכת אקולוגית בישראל (הערכה ראשונית המבוססת על דעת מומחים). מידת התרומה של הקבוצה הטקסונומית מסומנת בצבע: נמוכה (תכלת), בינונית (כחול בהיר) או גבוהה (כחול כהה), או שתרומתה זניחה על פי הידע הקיים (ללא צבע). מידת הוודאות משקפת את היקף העדויות ואת מידת ההסכמה לגבי תרומת כל קבוצה טקסונומית לכל שירות, ומסומנת בעיגול, מוודאות נמוכה (עיגול ריק) ועד וודאות גבוהה (עיגול מלא).

גורמים מחוללי שינוי	פטריות	צמחים עילאיים	חרקים	חסרי חוליות אקוטים	דגים	דו-חיים	זחלים	עופות	יונקים
שינוי בשימושי קרקע	●	●	◐	●	●	●	●	●	●
שינוי האקלים	◐	○	●	◐	●	◐	◐	●	◐
מינים פולשים	○	●	○	●	●	◐	◐	●	◐
ניצול יתר של משאבים (ישר ועקיף)	○	◐	◐	◐	●	◐	●	●	●
זיהום	◐	●	○	●	◐	●	◐	●	◐



איור 2: הערכת ההשפעה של גורמים מחוללי שינוי ישירים על קבוצות טקסונומיות בישראל (מבוסס על דעת מומחים). מידת ההשפעה על הקבוצה הטקסונומית מסומנת בצבע: נמוכה (תכלת), בינונית (סגול) או גבוהה (כחול כהה). מידת הוודאות משקפת את היקף העדויות ואת מידת ההסכמה לגבי חשיבות כל קבוצה טקסונומית לכל שירות, ומסומנת בעיגול, מוודאות נמוכה (עיגול ריק) ועד ודאות גבוהה (עיגול מלא).

3. תהליכים אקולוגיים תומכים ורווחת האדם

3.1. רקע תיאורטי

תהליכים אקולוגיים תומכים הם התפקודים הבסיסים של המערכות האקולוגיות, לדוגמה תפיסת אנרגית השמש בתהליך הפוטוסינתזה והפיכתה לאנרגיה כימית לשימושם של יצורים חיים (יצרנות ראשונית), מיחזור חומרי ההזנה והמים במערכות ימיות ויבשתיות, ויצירת קרקע פורייה לטובת קיום הצומח (Setälä, 2009). תהליכים אלו עיצבו את פני כדור הארץ ואת התנאים עליו, ולמעשה הם אלו שמאפשרים את החיים. כיוון שבלעדיהם לא היו מתקיימות המערכות האקולוגיות, לפחות לא כפי שאנחנו מכירים אותן, התהליכים האקולוגיים הם גם הבסיס לשירותי המערכות האקולוגיות, ובחלק מהספרות אינם מובחנים מהם ולא נחשבים כשירותי תמיכה (Millenium Ecological Assessment, 2005; Setälä, 2009). אחרים, כמו מסמך זה, מבחינים בין תהליכים אקולוגיים תומכים אשר תרומתם לרווחת האדם עקיפה, דרך אפשרת קיום שירותי המערכת האקולוגית, לבין שירותי המערכת האקולוגית עצמם, שתרומתם לרווחתם האדם ישירה (Bardgett et al., 2011; Haines-Young & Potchin, 2011).

תהליכים אקולוגיים תומכים בדרך כלל מצומדים זה לזה כמו גם מושפעים ומשפיעים על התנאים הפיסיים, הכימיים, האקלימיים והביולוגיים בהם הם מתקיימים. לדוגמה, היצרנות הראשונית תלויה במחזורי החומרים אשר מעצבים את זמינות חומרי ההזנה והמים, ובקיום ופוריות הקרקע, אך גם קיום הקרקע ופוריותה תלויה ביצרנות הראשונית, בזמינות חומרי ההזנה ובזמינות המים. יותר מכך, מימדי היצרנות הראשונית תלויים גם בהרכבו של המגוון הביולוגי והיחסים שבין רכיביו השונים, לדוגמה בין מיני הצמחים, בין הצמחים ליצורים של הקרקע, ובין הצמחים לבין אוכלי העשב וביניהם לבין טורפיהם (Bardgett & Wardle, 2010; Eisenhauer, 2012). התהליכים התומכים מושפעים גם מהמגוון הגיאולוגי: הסלעים על המינרלים המרכיבים אותם, הגאומורפולוגיה ומגוון הקרקעות. המגוון הגיאולוגי הוא לא רק מקור החומרים הפיזיים אלא גם תשתית לתהליכים התומכים כמו לדוגמה יצירת קרקע, שהיא משפיעה על המגוון הביולוגי. בפרק זה נסקור ארבע תהליכים אקולוגיים תומכים: יצרנות ראשונית, מחזור המים, מחזורי נוטריינטים וקיום קרקע.

3.2. יצרנות ראשונית

3.2.1. כללי

יצרנות ראשונית מוגדרת כקיבוע של פחמן דו-חמצני על ידי תהליך הפוטוסינתזה והטמעתו כחומר אורגני בצמחים ואצות. היצרנות הראשונית במערכות אקולוגיות ימיות ויבשתיות כאחד מהווה את התשתית שעליה בנויי כל מארג המזון ומאפשר קיום מגוון המינים. משום כך יצרנות ראשונית חיונית לקיום כלל שירותי המערכת האקולוגית כגון ייצור מזון ועץ. ההשפעה של היוצרנות הראשונית על שאר השירותים נובעת הן מהשירותים המסופקים באופן ישיר על ידי הצמחים עצמם על ידי יצירת ביומסה צימחית, והן משום שבעלי חיים צימחוניים (ההרביבורים) הנזונים מהם מעורבים באספקה אחרת של שירותים.

יצרנות ראשונית מושפעת בעיקר מאור, טמפרטורה, מים, נוטריינטים (כגון חנקן וזרחן) אך גם מהרכב ומגוון המינים במערכת האקולוגית. שימו לב, שהיצרנות מצד אחד מאפשרת למגוון מינים להתקיים, אך בו בזמן מגוון המינים משפיע בצורה חיובית על היצרנות. ההשפעה של כל אחד מהגורמים על היצרנות הראשונית אינה לינארית. לדוגמא, גם עודף וגם מחסור במים עשויים לגרום לירידה ביצרנות הראשונית. כדוגמא נוספת, בעוד שמחסור בנוטריינטים

יכול לגרום לעיכוב בגדילה של צמחים ועקב כך ירידה ביצרנות, עודף נוטריינטים במערכות אקוטייות גורם לגדילה מהירה של אצות הצורכות את החמצן המומס במים ובתהליך הנקרא אטרופיקציה עלול להביא למוות של יצורים במים וירידה חדה ביצרנות הראשונית. משום כך, החשיבות היחסית של גורמים שונים בקביעת היצרנות הראשונית תהיה תלויה בבית הגידול. לדוגמא, בישראל מים עשויים להיות גורם מגביל בבתי גידול טבעיים בעוד נוטריינטים עלולים להיות גורם מגביל בשדות חקלאיים.

חלק גדול מהפחמן האורגני אובד כתוצאה מתהליכי נשימה החיוניים לקיום ביומסה חיה. היצרנות הראשונית נטו (Net Primary Productivity - NPP) היא סך היצרנות הראשונית (Gross Primary Production - GPP) פחות כמות הפחמן האורגני שאובד לתהליכי נשימה. ה-NPP הוא המדד החשוב לשירותי מערכת. היצרנות הראשונית אינה ניתנת למדידה ישירה, ומכך שמלבד בקנה מידה קטן מאוד קשה לכמת יצרנות ראשונית ולהבין מגמות שינוי בה. לדוגמא, כמות הביומסה שמצטברת בשורשים, שתורם משמעותית להצטברות פחמן אורגני בקרקע, עשויה להשתנות רבות בין בתי גידול שונים (Jackson et al., 1996). כדוגמא נוספת, ישנה אי ודאות רבה לגבי שטף הפחמן במי נגר. אי ודאות זו יכולה להשפיע רבות על הערכות היצרנות הראשונית במערכות מים פנים ארציות (Evans et al., 2005). בנוסף, מכיוון שאין אנו יודעים בדיוק כיצד היצרנות הראשונית תושפע ממשתני אקלים, סוג קרקע ושינויי שימושי קרקע קשה להשתמש בהערכות של יצרנות ראשונית מקנה מידה קטן כדי להעריך יצרנות ראשונית בקנה מידה גדול או שינויים ביצרנות ראשונית בזמן. בעיה זו, שאינה אופיינית רק לישראל, שימשה כזרז לשימוש בשיטות בלתי ישירות להערכה של יצרנות ראשונית. שיטות עיקריות מתבססות על אומדן ביומסה של חומר צימחי, קצב הצטברות חומר אורגני, קשר אמפירי בין actual evapotranspiration (AET) לבין היצרנות הראשונית נטו, וחישה מרחוק של בליעת קרינה באורכי גל המתאימים לפוטוסינטזה (Running et al., 2004). במערכות ימיות היצרנות הראשונית לרוב מוערכת על ידי ריכוז כלורופיל (מולקולה מרכזית בתהליך הפוטוסינטזה) במים (Longhurst et al., 1995). חשוב לזכור כי שיטות אינן ישירות ומבוססות על הנחות שונות (Lovett et al., 2006).

הולכות ומצטברות יותר ויותר עדויות לכך שיצרנות ראשונית, כמו גם תפקודי מערכת אחרים, יציבים יותר לאורך זמן ככל שהחברות מגוונות יותר (Cottingham et al., 2001; Jiang & Pu, 2009; Hector et al., 2010). המידה שבה היצרנות הראשונית תשתנה בעקבות שינוי הרכב מינים תלויה במידה רבה באילו תכונות ביולוגיות נעלמו (Hooper et al. 2005; Diaz et al., 2007). לדוגמה, יש משמעות שונה להיעלמות של מינים בעלי יצרנות גבוהה לעומת מינים עם יצרנות נמוכה. כימות של מגוון התכונות התפקודיות ביחס לתפקודי המערכת האקולוגית כתומכת ביצרנות ראשונית הם נתונים חשובים מאד ותחום מחקר מתפתח (Diaz et al., 2007; Suding et al., 2008).

3.2.2 גורמים מחוללי שינוי

העליה בשטח האזורים החקלאיים ושינוי בשימושי קרקע גורמת לשינוי ישיר ביצרנות ראשונית ביבשה. כל אלו תרמו לעליה אקספוננציאלית בכמות המזון המיוצרת בעולם (Goulding et al., 2008). בנוסף לשינוי ישיר של יצרנות ראשונית לשם יצירת מזון (חקלאות) ועץ על ידי המרת אזורים טבעיים לאזורים מעובדים, פעילות האדם משפיעה על יצרנות ראשונית באופן עקיף דרך גורמים כגון:

3.2.2.1. עלייה ביצרנות באזורים הקלאיים

פעילות האדם על ידי שימוש בדשנים, קוטלי מזיקים וזנים חדשים של מיני מזון העלו את היצרנות הראשונית בשטחים קלאיים, ובכך את כמות המזון שניתן לייצר בשטח נתון. לעליה בחנקות יש גם השפעות ישירות ועקיפות על חברות הקרקע (כגון חידקים ופיטריות) שמשפיעות על זמינות החנקן לצמחים (Donnison et al., 2000; Egerton-Warburton & Allen, 2000; Frey et al., 2004; Treseder, 2008). אולם, יש עדיין פערי ידע נרחבים לגבי ההשפעה של עלייה כרונית בחנקן על יצרנות ראשונית וחברות הקרקע וכיצד השפעה זו משתנה בין סוגי קרקע שונים.

3.2.2.2. שינויי אקלים

שינוי אקלים יהווה ככול הנראה גורם משמעותי בשינוי הדגם המרחבי של יצרנות ראשונית בדורות הקרובים. מודלים חוזים כי שינוי אקלים יגרום לירידה של 20% בכמות הגשם השנתית בישראל ובנוסף לעליה בשונות הבין שנתית עד לשנת 2050 (Golan-Angelko & Bar-Or, 2008; Evans, 2009). באזורים צחיחים וצחיחים למחצה כמו ישראל כמות המשקעים ופיזורם הינו אחד הגורמים העיקריים המשפיעים על יצרנות ראשונית (Lehouerou et al., 1988; Fay et al., 2000; Miranda et al., 2011; Shafran-Nathan et al., 2013). לכן, צפוי כי ירידה בכמות הגשם השנתית, ירידה במספר אירועי הגשם, ועלייה בשונות בין אירוע לאירוע תגרום לירידה ביצרנות הראשונית (Fay et al., 2003; Nippert et al., 2006). אולם, נראה כי דגם שינוי היצרנות הראשונית יהיה מורכב, וישתנה לאורך גרדיאנט הגשם בישראל, כך ששינויי אקלים ישפיעו בעיקר על אזורים יבשים, בעוד שבאזורים לחים יותר היצרנות הראשונית לא תשתנה בצורה ניכרת (Golodets et al., 2013). בנוסף, צפוי כי מינים ישנו את תחום התפוצה שלהם כתוצאה משינויי אקלים, דבר שישנה את מגוון המינים ואת עוצמת היחסים הבין מיניים. לשינויים אלו בהרכב המינים יכולים להיות השפעה שקשה לחיזוי על היצרנות הראשונית, לדוגמה במידה ומינים שלהם יצרנות נמוכה יחליפו מינים בעלי יצרנות גבוהה.

3.2.2.3. שחרור נוטריינטים למערכות מים

עלייה בחנקן עקב דישון הינו גורם מחולל שינוי היכול לגרום לעלייה ביצרנות הראשונית במערכות מים. אולם, עליה משמעותית בחנקות עלולה לגרום לאאוטרופיקציה שמלווה בירידה היצרנות הראשונית וירידה ניכרת באוכלוסיות הפיטולנקטון והדגים במערכות מים פנים ארציות (Moss et al., 2003; Moran et al., 2010). גם במערכות ימיות אוטרופיקציה מחוללת שינוי בהרכב חברות ימיות דרך תמותה של חסרי חוליות ודגים ופריחת אצות. לעלייה בכמות האצות השפעה על ישירה על עליית היצרנות הראשונית אך במקביל גורמת לחוסר יציבות ולדינמיקה של שינויים גדולים ביצרנות הראשונית בזמן בעיקר בחברות אקולוגיות בעלות מגוון מינים נמוך. באזורים רדודים האצות עלולות להגביל את מעבר החמצן והאור לשכבות מים עמוקות יותר ולסדימנט, תהליך שיכול להוביל למוות נרחב ולירידה היצרנות הראשונית הכוללת.

לקרקעות מסוימות יכולת גבוהה לצבור ולהחזיק חנקן אורגני, ובכך להפחית ייצוא מזיק של חנקן. בקרקעות אלו חנקן נצרך במהירות על ידי מיקרואורגניזמים וצמחים (Zogg et al., 2000; Bardgett et al., 2003). הגורם העיקרי הקובע את מעבר החנקות למערכות מים פנים ארציות הוא יכולת צריכת החנקן של הצמחים וכמות היחסית והמוחלטת של החנקן ופחמן בקרקע (Emmett, 2007).

3.2.3. השלכות של שינוי

כל שינויי ביצרנות ראשונית יגרום לשינוי משמעותי בשירותי המערכת, וגם בתהליכים אקולוגיים תומכים נוספים שמושפעים מפחמן אורגני (Orwin et al., 2010). כך, לעלייה בנוטרינטים וביצרנות הראשונית השלכות שליליות על איכות מים, בעקבות פגיעה ביכולת של המערכות לווסת מזהמים ופסולת במים. שינוי ביצרנות ראשונית ישפיע ישירות על קצב הצטברות הפחמן בקרקע (De Deyn et al., 2008), ובכך משפיעה באופן משמעותי על שירות הויסות של קיבוע ואצירת פחמן (Bardgett & Wardle, 2010)

לשינויים ביצרנות הראשונית גם השלכות מרחיקות לכת על מגוון הביולוגי. המגוון הגדול ביותר של מינים לרוב מיוחס לרמות ביניים של יצרנות ראשונית, עקב השתלטות של מינים דומיננטים מעטים על כלל המשאבים ברמות יצרנות ראשונית גבוהות. לכן, עליה ביצרנות ראשונית עשויה לגרום הן לירידה והן לעליה במגוון מינים (Abramsky & Rosenzweig, 1984). לשינויים ביצרנות עשויים להיות השלכות נרחבות על מגוון המינים הן מעל פני האדמה והן מתחתיו. השלכות אלו בתורם ישפיעו על כלל שירותי המערכת.

יצרנות ראשונית משפיעה על מעבר האנרגיה במארגי מזון. לדוגמא, שינוי ביצרנות ראשונית תשנה את גודל אוכלוסיית בעלי החיים הצמחוניים הניזונים מצמחים. השפעות אלו יכולות לעלות במעלה שלרשרת המזון ולהשפיע בצורה מורכבת על רמות טרופיות גבוהות יותר, בהתליך שידוע בשם Trophic Cascades. משום כך, שינוי ביצרנות ראשונית ישפיע על מארגי מזון, הן יבשיות והן במערכות מים, ועשוי לשנות את מבנם ותיפקודם שישליך ישירות על יכולתם לקיים שירותי מערכת.

3.2.4. חלופות של ממשק מקיים

ממשק מקיים של יצרנות ראשונית באזורים טבעיים וטבעיים למחצה תלוי בחיבור המורכב שבין גורמים פיזיים, כימיים וביולוגיים שמשפיעים על גורמים מעכבי גדילה כגון אור, נוטריינטים ומים. כל שינוי במצב, בים או ביבשה, עשוי לשנות גם את היצרנות הראשונית ואת שירותי המערכת שהיא תומכת בהם.

במערכות אקולוגיות רבות נוטריינטים מהווים גורם מגביל ביצרנות הראשונית. בישראל, שצחיחה יחסית, נוטריינטים מהווים גורם מגביל בעיקר בבתי גידול חקלאיים בעוד שבבתי גידול יבשתיים טבעיים מים מהווים את הגורם המגביל העיקרי. אולם, בעוד עלייה בכמות הנוטריינטים תגרום לעליה ביצרנות ראשונית, לעליה בנוטריינטים השלכות שליליות על שירותי וויסות, כגון איכות מים, ועל מגוון המינים שבבסיס שירותי המערכת. משום כך, תכניות ממשק צריכות לכוון לניצול טוב יותר של החנקות בחקלאות ובמניעת מעבר חנקות ממערכות חקלאיות לבתי גידול טבעיים. לדוגמא, שיקום מגוון המינים במערכות חקלאיות יאפשר את אספקת השירות של אגירת פחמן וחנקות במערכות החקלאיות עצמם, וימנע מעבר שלהם לבתי גידול טבעיים.

3.2.5. פערי ידע

נחוץ מחקר נוסף כדי להבין איזה רמה של יצרנות ראשונית דרושה כדי למקסם שירותי מערכת שונים. מחקר זה צריך להתבסס על מודלים אקולוגיים שמהווים כלי חשוב לאינטגרציה של התהליכים המורכבים שמשפיעים על תפקוד המערכת האקולוגית, וביניהם יצרנות ראשונית.

בנוסף, חסר ידע שיכול לשמש לתיכנון של מערכות אקולוגיות כך שישמרו על יצרנות ראשונית בזמן שינוי אקלים. יש בידי האקולוגים כלים המאפשרים לחזות כיצד מינים ישנו את תפוצתם בעקבות שינוי אקלים, לדוגמא בעזרת

species distribution models (Araujo & Guisan, 2006; Elith et al., 2006). אולם לא ברור לאלו מינים מודלים אלו נותנים תחזיות אמינות ולאלו תחזיות אלו מוטות. בנוסף, מודלים אלו מתבססים ברובם על תנאי סביבה ומתעלמים ממגבלות הפצה ומאינטראקציות בין מיניות (Araujo & Luoto, 2007; Gilman et al., 2010; Kissling et al., 2012; Zarnetske et al., 2012). על מחקר עתידי לנסות להבין כיצד אינטראקציות ביולוגיות ישפיעו על תפוצת מינים, וכיצד שינויי אקלים ישפיעו על עוצמת היחסים הבין מיניים וכיצד כל זה ישנה את היצרנות הראשונית.

3.3. מחזור המים

3.3.1. כללי

המים חיוניים לכל תהליכי החיים והם תנאי הכרחי לקיומם. בהקשרם של שירותי וויסות, המים תומכים בשני תהליכים אקולוגיים הבסיסיים שהם התהליכים האקולוגיים התומכים העיקריים - יצרנות ומיחזור חומרים. ללא מים לא תהיה תפיסת אנרגית השמש בתהליך הפוטוסינתזה דבר שיפגע הן ביצרנות הראשונית והן במיחזור החומרים.

מחזור המים מתאר את תנועת המים בין המאגרים השונים בהם הם נמצאים: באוויר, באוקיינוסים, באגמים, נהרות, נחלים, קרקעות, קרחונים, שלג, מי תהום וגופם של יצורים חיים. התנועה של המים ממאגר למאגר מתרחשת בתהליכי אידוי, דיות, התעבות, ירידת משקעים, הפשרה, נגר עילי, חילחול וזרימה תת-קרקעית.

תנועתם של המים היא אם כן כמשקעים (גשם, שלג, ברד וטל) מהאטמוספירה אל היבשה – שם המים מחלחלים אל הקרקע ואל מאגרי המים התת-קרקעיים או זורמים כנגר עילי אל גופי המים היבשתיים (אגמים, בריכות חורף, נחלים) או ישירות לאוקיינוסים. חלק ממשקעים אלו גם יורד על פני הים. המים מתאדים חזרה לאטמוספירה מגופי מים אלו וכן מהקרקע. היצורים החיים - צמחים, בעלי חיים, פטריות ומיקרואורגניזמים, קולטים מים לצרכיהם וגם מהם המים מתאדים או מופרשים.

מרבית המים על פני כדור הארץ מצויים בימים ובאוקיינוסים כמים מלוחים שאינם זמינים ליצורים יבשתיים ולאדם. רק 2.5% מהמים הם מים מתוקים, אך מתוכם 1.7% קפואים בקרחונים ובשלגי עד, וכמות נוספת מצויה בביצות, בלחות בקרקע ובאדמה קפואה. ההערכה היא כי המים הזמינים למערכות האקולוגיות ולאדם על פני כדור הארץ הם פחות מ-1% מהמים המתוקים שהם 0.01% מכלל המים על פני כדור הארץ. הזמינות של המים במאגרים השונים ליצורים חיים ולמגוון שימושים של האדם מוכתב על ידי הנתיבים, השטפים, איכות המים, מצב הצבירה והמיקום שלהם (Bardgett et al., 2011).

בין טיפת הגשם ובין הקרקע אליה היא נופלת נמצאת המערכת האקולוגית שבתכסיתה הצמחית, שהיא רכיב המגוון הביולוגי של המערכת, נתקלת הטיפה לראשונה. לאופיה של התכסית, להרכב המינים שבה, מכלול תכונותיהם, לצפיפות ולארכיטקטורה הפיזית של התכסית כולה השפעה רבה על גורלה של הטיפה – להתאדות, לזרום על פני שטח הקרקע ("נגר עילי") שעשוי להעשיר נחלים, מקווי מים או לזרום לים התיכון, או לחלחל לקרקע ולשהות בה ("לחות הקרקע"), או אף להמשיך לחלחל ולהעשיר את מאגר מי התהום.

האקלים, פני הקרקע והצמחייה הם שלושת הגורמים המרכזיים שמשפיעים על כמות המים הזמינה באגן היקוות מסוים. מים שמגיעים לקרקע יכולים להתאדות, לזרום כנגר עילי או לחלחל לתוכה. האקלים אחראי לכמות המשקעים, לעוצמתם, למשכם, לפיזורם על פני השנה כמו גם על הטמפרטורה, וכלל גורמים אלו משפיעים על

האיזוי, החילחול והזרימה. פני הקרקע, אופי הקרקע, תכולת המים בה, והשיפוע של הקרקע (הטופוגרפיה) משפיעים גם הם. ככל שעוצמת המשקעים רבה יותר, וככל שהמדרונות תלולים יותר כך המים נוטים לזרום בעוצמה גדולה יותר כנגר עילי (Bardgett et al., 2011).

לצמחייה השפעה רבה על מחזור המים. אופי הצמחייה וצפיפותה משפיעים על כמות המים שיאגרו ביצורים חיים או שיתאדו ישירות מפני השטח, יזרמו כנגר עילי, או יחלחלו לקרקע וימלאו את מאגרי מי התהום (Hubbart, 2006). לדוגמה, צמחייה מעכבת את המשקעים בדרכם לקרקע ומים מתאדים ישירות מהעלווה חזרה לאטמוספירה (Pidwirny, 2011). צמחייה גם מאטה את שטף טיפות הגשם או הברד ובכך מחלישה את עוצמת הפגיעה בקרקע חלקה מטיפות המים נעצר ונאצר על פני העלווה; רחבי עליים עושים זאת טוב יותר ממחטניים, ורפד יער מחזק את ההשפעה החיובית הזו של האטת פגיעת המשקעים בקרקע. בהיווצר נגר עילי, צמחייה מאטה את הזרימה על פני השטח ומאפשרת חילחול לעומק הקרקע אל עבר מאגרי מי התהום. במערכות המדבריות למשל, המתאפיינות על ידי תכסית צמחית דלילה יחסית במקומות בהם הותמרו מערכות חורש וכתה חלק גדול מהמשקעים אינו מווסת למאגרים עיליים ותחתיים אלא מייצר שיטפונות, ובעקבותם סחף קרקע ולעיתים אף מפולות בוץ (Hubbart, 2011).

התכסית הצמחית משפיעה על מחזור המים גם באופן עקיף דרך השפעתה על האלבדו - החזר קרינת השמש מפני כדור הארץ. החזר הקרינה מפני שטח חשופים גבוהה בדרך כלל מאשר מפני שטח מכוסים בצמחייה, במיוחד באזורים בהם הקרקע בצבע בהיר יחסית (Budikova, 2013). גם אופי העלווה משפיע על החזר הקרינה - צמחים רחבי עליים מחזירים בדרך כלל יותר קרינה מאשר צמחים מחטניים, נשירים או בעלי עליים קטנים (Budikova, 2013). החזר הקרינה משמעותי מכיוון שהוא משפיע גם על האקלים בקנה מידה אזורי וגם על משטר הגשמים המקומי.

שינוי שימושי הקרקע, אם כן, יכול להשפיע באופן משמעותי על מחזור המים המקומי - על מידת החילחול למילוי מאגרי מי התהום או הנגר העילי. התמרת המערכת הטבעית לחקלאית או אטימת הקרקע על ידי בינוי גורמים בדרך כלל לצמצום מילוי מאגרי מי התהום והגדלת הנגר העילי (Hubbart, 2006).

האקלים, פני הקרקע והצמחייה מושפעים ומשפיעים זה על זה. כמות המשקעים השנתית, הפריסה שלה לאורך השנה, עוצמת הגשם והמרווחים בין אירועי המשקעים משפיעים על המרכיבים השונים של מחזור המים: על הזרימה בנחלים, על החלחול למי תהום, ועל ההתאדות. עוצמת הגשמים משפיעה על חלוקת מי הגשם בין הרווית הקרקע והעשרת מי התהום לבין היווצרות שלוליות וזרימה על פני הקרקע. מרווחי הזמן בין אירועי המשקעים קובעים את מידת התייבשות הקרקע וחידוש ההרוויה מהמשקעים המתחדשים ובכך על חלוקת מי המשקעים בין שני מסלולי הזרימה הנ"ל. עוצמת ההתאדות קובעת את מידת התייבשות הקרקע בין אירועי המשקעים, את משך החיים של הצמחייה החד-שנתית ויכולת ההישרדות של זו הרב-שנתית. כמו כן קובעת ההתאדות את כמות ההשקיה הנחוצה לגידולי השלחין ובכך את הביקוש למי השקיה, דבר בעל ערך לניהול משק המים.

3.3.2 מצב קיים ומגמות

מדינת ישראל שוכנת בין קווי הרוחב 29.50-33.50 צפון. חלקה הצפוני מאופיין באקלים ים-תיכוני וחלקה הדרומי באקלים צחיח וצחיח ביותר. באזור המפגש בין אזורי האקלים השונים, ניכרות תנודות רבות במזג האוויר בעקבות השפעות של מערכות אקלימיות ממקורות בעלי מאפיינים סינופטיים שונים. הדבר בא לידי ביטוי בין היתר בשונות רבה במשטר הטמפרטורות ובתנודות במשטר הגשמים - על כל מרכיביו.

נפח מי הגשם בשנה ממוצעת בישראל הוא כ- 7 מיליארד מ"ק. מתוך כמות זו פחות מ- 2 מיליארד מ"ק נאספים בפועל במאגרי המים העיליים והתחתיים. השאר חוזרים לאטמוספירה באידוי או בדיות. באופן גס, כ- 70% מהגשמים חוזרים לאטמוספירה באידוי ישיר מפני הקרקע או על ידי נידוף מצמחייה, כ- 5% זורמים בנחלים וכ- 25% מחלחלים אל מי התהום (כאשר היחס בין המספרים הללו משתנה בין אזור לאזור ברחבי הארץ).

עונת הגשמים באזורנו נמשכת כחצי שנה, מאוקטובר עד אפריל. מסת הגשם העיקרית, כ- 75%, יורדת במשך שלושה חודשים - דצמבר, ינואר ופברואר. יתרת הגשמים, כ- 25%, יורדת בתחילת העונה ובסופה. פריסת המשקעים לאורך עונת הגשמים שונה בין אזור החוף לפנים הארץ: בממוצע, כ- 50% מכמויות המשקעים מצטברות באזור החוף עד ל- 31 לדצמבר. בפנים הארץ (אזור ירושלים לדוגמה), הכמות הזו מושגת רק לקראת סוף חודש ינואר. המקור המרכזי למשקעים בישראל הם שקעים המגיעים מהים התיכון ("שקע קפריסאי"). מספר ימי הגשם נע בין כ- 60-70 בצפון הארץ, ל- 40-60 במרכזה. מספר זה הוא כרבע ממספר ימי הגשם האופייניים לאירופה. למעשה, ברוב ימי החורף לא יורדים גשמים בישראל. כמות הגשם הממוצעת כיום גשם בישראל היא כ- 10 מ"מ, כמות גבוהה יחסית לכמויות היומיות באירופה. השונות בכמויות הגשם היומיות באזורנו רבה יותר, ובסופות גשם קיצוניות ניתן למדוד כמויות שיא של 100-200 מ"מ. גם השונות השנתית בכמויות הגשם גבוהה מאוד כאשר בשנה גשומה יכולים לרדת במרכז הארץ כ- 1,000 מ"מ (200% ביחס לממוצע) ובשנים שחונות כ- 250 (50% מהכמות הממוצעת). כמו מספר ימי הגשם, גם כמויות הגשמים השנתיות הממוצעות פוחות מצפון לדרום כאשר בגליל העליון ובצפון רמת הגולן יורדים כ- 800-900 מ"מ בשנה ממוצעת, במרכז הארץ כ- 500-600 מ"מ ובאזור אילת רק כ- 25 מ"מ בשנה. כמות הגשם פוחתת גם ממערב למזרח. במישור החוף יורדים כ- 600 מ"מ בשנה ממוצעת ובבקעת הירדן רק כ- 100 מ"מ בשנה. "קו המדבר" בישראל מוגדר כאזור בו כמויות השקעים יורדות מתחת ל- 250 מ"מ בממוצע רב שנתי (אזור בית קמה שבצפון הנגב). ככלל, מתברר ששני שלישים מכמויות הגשמים יורדים רק על שליש משטחה של ישראל.

מספר קבוצות של חוקרים בארץ ניתחו מגמות של גשמים ומצאו שב- 30 השנים האחרונות חלה ירידה של כ- 15-10% בכמויות המשקעים בצפון הארץ (בעיקר בגליל העליון ובצפון רמת הגולן) לעומת יציבות ואף עלייה קלה בכמויות הגשמים במרכז הארץ (Ziv et al., 2011; Givati & Rosenfeld, 2007, 2013). זיו וחבריו אף מצאו התארכות של משך הזמן בין פרקי הגשם בתקופת החורף. גבעתי ורוזנפלד (2007) אף כימתו את השפעות ההפחתה בכמויות המשקעים ומצאו שבעשורים האחרונים חלה ירידה של כ- 15% בשפיעת מעיינות מרכזיים בצפון הארץ כמו מעיינות הדן והבניאס באגן הדיקוורת של הכנרת ועין זיו באגן הגליל המערבי. כתוצאה מכך פחתה הזרימה בנהר הירדן ונפח המים הזמינים בכנרת (סך כל כניסות המים לאגם מגשם ישיר, מעיינות ונחלים בניכוי ההתאדות) פחות בכ- 100 מליון קוב בתקופה של 30 שנים. Törnros & Menzel (2014) מצאו מגמת עלייה באינדקס הבצורת SPI עבור אזורנו. תדירות הבצורות עלתה, משך תקופות התאריך ועומק הבצורת גדל. על פי המודלים האקלימיים מגמה זו תימשך גם במאה ה- 21. זיו וחוב' מצאו מגמת עלייה של $1-2^{\circ}\text{C}$ עבור טמפרטורת המקסימום בעונת הקיץ (יוני, יולי, אוגוסט) במספר תחנות רב ברחבי הארץ, ועלייה גדולה עוד יותר בשיעור של $1-3^{\circ}\text{C}$ בטמפרטורת המקסימום (כלומר התחממות בשעות הלילה). בנוסף נמצא גם שפרקי הזמן של גלי החום בתקופת הקיץ גדל (מעל ל- 5 ימים) וחלה עלייה בשכיחות הימים החמים ואירועי המקסימום הקיצוניים.

לשינויים בכמויות המשקעים, הפריסה שלהם במהלך השנה והתזמון שלהם יש השפעות אקולוגיות ניכרות. לדוגמה, ניתן לזהות מגמה של עלייה במליחות של מי הכנרת כתוצאה מירידה בכמות המים שנכנסת לאגם, בעיקר מנהר הירדן (רימר, 2012) שמשפיעה על הרכב בעלי החיים באגם. בעוד שהשפיעה מהמעיינות המלוחים בצפון-מערב הכנרת

נותר יציב (טבחה ופולייה) כמות המים הנכנסת כתוצאה ממשקעים במעלה אגן היקוות: חרמון, רמת הגולן והרי הגליל, פוחתת, וכתוצאה מכך נרשמת עלייה בריכוזי המליחות באגם. השינויים במליחות משפיעים על איכות המים ועל המערכת האקולוגית המתקיימת בהם. דוגמה נוספת היא התייבשות עצי שיטה בערבה.

נמצא כי תקופת היובש בערבה הדרומית (כ-16 שנים כמעט ללא שיטפונות) גרמה לתמותה של עצי השיטה, עד 15% מכמות העצים בשנה באגן נחל רוודד וקטורה (גינת וחוב', 2011).

3.3.3 גורמים מחוללי שינוי

שני גורמים עיקריים משפיעים על מחזור המים: שינויי אקלים, אשר משפיע על כמויות המשקעים, הפיזור, המשך והעוצמה שלהם, ושינויי שימושי קרקע אשר משפיע על פני הקרקע, האקלים המקומי והצמחייה אשר יעצבו את מידת האידוי והדיות, מידת החילחול לקרקע ומילוי מאגרי מי התהום לעומת מידת הנגר העילי וכמות ועוצמת השיטפונות.

עבודות רבות של חוקרי אקלים מצביעות על מגמה של התחממות כדור הארץ בעשורים האחרונים. החוקרים מייחסים את מגמת ההתחממות לעלייה החדה בריכוזי גזי החממה באטמוספירה, בעיקר פחמן דו חמצני (CO_2) שנפלט לאטמוספירה כתוצאה מפעילות אנושית. מגמות אקלימיות עתידיות יכולות להיות מחושבות בעזרת מודלים אקלימיים. מודל אקלימי הינו מערכת של משוואות מתמטיות המתארות את הקשרים והתהליכים באטמוספירה. בעזרת נתונים מטאורולוגיים כמו קרינת השמש, כמות אדי המים באטמוספירה, כיווני הרוחות ועוד משתנים, המודלים האקלימיים מחשבים מגמות אקלימיות שונות כגון כמות הגשם במרחב לאורך שנים. המודלים משתמשים בתרחישים שונים של ריכוזי גזי החממה באטמוספירה על מנת לתאר את תנאי האקלים ששררו בעבר, בהווה או לחיזויים בעתיד. ה-IPCC (הפאנל הבין ממשלתי לשינויי אקלים) מעריך שההיתכנות להמשך מגמת ההתחממות הגלובאלית היא "היתכנות רבה".

ההשפעה של גורמי השינוי האקלימיים, מעורבת בזו של גורמי שינוי כתוצאה משינוי יעוד קרקע ופעולות פיתוח כגון: עיור, ניקוז וזיהום (Hubbart, 2006, 2009). אלה משנים את הטופוגרפיה של הקרקע, כושר החידור שלה, סחיפותה, מסלולי נחלים ומעיינות, ירידת משקעים, התאדות, מפלסי מי תהום, איכות המים ועוד. לדוגמה, בניה ופיתוח אינטנסיביים באזורי ההצפה של נחלים מגדילה את הסכנה של השיטפונות ואת הנזק שהם גורמים.

3.3.4 השלכות של השינוי

על פי המודלים האקלימיים המשך מגמת העלייה בריכוזי גזי החממה באטמוספירה תגרום להמשך העלייה בטמפרטורה הגלובאלית תוך שונות בין אזורית: ישנם אזורים שצפויים להתחמם יותר כמו בקטבים, וישנם אזורים שצפויים להתחמם פחות כמו האזורים הטרופיים. בעוד מידת הודאות במודלים גבוהה יחסית בכל הנוגע למגמות טמפרטורות, בכל הנוגע למשקעים אי הודאות גדולה הרבה יותר: בשל השונות הטבעית הגדולה של מופע המשקעים בכל שנה קשה להצביע על מגמות מובהקות בכמות הגשם כאשר מנתחים סדרות היסטוריות ארוכות. בנוסף קיימים עוד גורמים המשפיעים על מגמות משקעים מלבד מגמת ההתחממות, כמו המחזוריות הטבעית של תקופות גשומות מול תקופות שחונות. על פי מרבית המודלים האקלימיים הגלובליים ההתחממות הגלובאלית גורמת למגמת עלייה במשקעים בקווי הרוחב הגבוהים (בסביבות קו רוחב 50 ומעלה) ולירידה בכמויות המשקעים ברחבים הבינוניים והנמוכים (קווי רוחב 40 עד 30 לערך).

מחקרים רבים בעולם מצביעים על מגמה אשר ניתן ליחסה בסבירות גבוהה לשינויי האקלים ואשר צפויה להתגבר בעשורים הקרובים: התגברות הקיצונות באקלים כדור הארץ. באזורנו צפויות למגמה זו השלכות שונות: ירידה בכמויות המשקעים ועלייה בתדירות וחומרת אירועי הבצורת מצד אחד, ומנגד התגברות באירועי קיצון כגון גלי חום בתקופת הקיץ ואירועי שיטפונות במהלך עונת הגשמים (Dai, 2011; Hoerlin et al., 2012; Törnros & Menzel, 2014). מגמות אלו ישפיעו על כל מחזור המים: המשקעים, הזרימה בנחלים, שפיעת מעיינות ומפלסי מי התהום והימות, ועל כן צפויים להשפיע על סקטורים כמו משק המים, החקלאות והסביבה.

המודלים האקלימיים אשר מורצים ברזולוציה גבוהה עבור אזורנו צופים שמגמות אלו ימשכו גם במאה ה-21 ואף ביתר שאת: ירידה במשקעים, בעיקר בצפון הארץ (Kitoh et al., 2008; Krichak et al., 2009; Kuntsmann, 2009; Kitoh et al., 2010; Chenoweth et al., 2011; Jin, 2011) והמשך מגמת ההתחממות בקצב של בין 0.4 ל-0.8°C לעשור, תלוי באזור ובעונה. באגן ההיקוות של הכנרת צפוי על פי המודלים גידול בהתאדות בשיעור של 5% (Rimmer et al., 2011). שינויים אלו יתוספו למגמה של עלייה במליחות של מי הכנרת כתוצאה מירידה בכמות המים שנכנסת לאגם, בעיקר מנהר הירדן (רימר, 2012).

גל וגלבוש (2012) ניסו לכמת את ההשפעות של ירידה בכמות המים הנכנסת לאגם ומצאו שירידה משמעותית של כ-100 מיליון קו"ב כתוצאה מירידה בכמות הגשמים מזרימת מעיינות וזרימה בנחלים ובניכוי ההתאדות, תביא לעלייה בריכוזי הזרחן והחנקן הצפויה וכן לעלייה בביומסה של אצות כחוליות רעילות כמו גם ביחס בין אצות אלו לכלל ביומסת האצות באגם.

3.3.5. חלופות ממשק מקיים

עידן ההתפלה אליו עבר משק המים הישראלי מאפשר לספק מים למגזר הביתי באמינות מלאה, והשימוש בקולחין מאפשר לספק כמויות מים נוספות לחקלאות. שני אלו מקטינים את השאיבה ממקורות המים השונים: הכנרת, מעיינות ונחלים ומי התהום. כתוצאה מכך, מתאפשר להקצות מים למערכות האקולוגיות (מים לטבע). אולם, יש להיערך להשפעות הנוספות של שינוי האקלים: לירידה בהיצע המים הטבעיים ובעיקר הגידול בשונות וסטיות התקן של התופעות האקלימיות - בצורות מצד אחד ואירועי שיטפון חריגים מצד שני, תהיה השפעה משמעותית על המערכות האקולוגיות.

3.3.6. פערי ידע

לעומת המחקר הרב שהושקע בארץ נושא השפעת שינויי האקלים על פרמטרים כגון טמפ' ומשקעים, אין כמעט עבודות העוסקות בהשפעות של שינויי האקלים על מערכות אקולוגיות (למעט אולי ימת כנרת), ומדובר בפער ידע שמומלץ לסגור. שנת 2013/14 לדוגמא הייתה שנת בצורת קיצונית בצפון הארץ הן מבחינת כמויות המשקעים (הנמוכות ביותר שתועדו מאז החלו המדידות לפני כ-100 שנים) והן מבחינת פריסת המשקעים ומספר ימי הגשם. מקורות מים טבעיים משמעותיים לסביבה כגון מעיינות הבניאס הגיעו לסף התייבשות. יש מקום לגבש תוכנית ניטור ייעודית לנושא ולנסות להבין טוב יותר את ההשפעות הצפויות של שינויי האקלים במאה ה-21 על מקורות המים, הסביבה והמערכות האקולוגיות השונות.

3.4. יצירה וקיום של קרקע

3.4.1 כללי: מאפייני הקרקעות של ישראל

קרקע נוצרת כתוצאה מבליית סלעים ומהצטברות אבק וחומרים אורגניים, בתהליך אטי ומתמשך שנמשך מאות ואלפי שנים (ראו הרחבה 1 - הגדרת קרקע). תהליכי יצירת הקרקע מוכתבים על ידי חמישה גורמים עיקריים: הסלע ממנו/עליו מתפתחת הקרקע, האקלים (בעיקר כמות המשקעים והטמפרטורה), הטופוגרפיה, הביוטה (חי וצומח) והזמן (Jenny, 1941). בעשורים האחרונים הקהילה המדעית הגיעה לתובנה כי ישנו גורם שישי המשפיע על היווצרות קרקעות והוא האדם. במקומות מסוימים זהו הגורם המכריע בהתפתחות ובשינוי הקרקע. קצב היווצרות הקרקע משתנה במרחב ובזמן, אך עומד לרוב על 0.04-0.08 מילימטרים בשנה, כלומר פחות מ-1 ס"מ ב-100 שנה. קצב יצירת הקרקע גדל בהתאמה לעלייה בכמות המשקעים הרב שנתית ולכן קרקעות באזורים מדבריים וחצי-מדבריים נוצרות לאט יותר מאשר באזורים לחים יותר.

במקביל לתהליכי יצירת הקרקע חלים תהליכי דלדול קרקע שהדומיננטי בהם הוא תהליך הסחיפה. סחיפת קרקע על ידי מים ורוח הינה תהליך טבעי בעיקרו אשר הולך מתעצם בעשורים האחרונות עקב פעילות האדם בכל העולם וגם בישראל. לרב קצב סחיפת הקרקע גבוה מקצב היווצרותה ולכן ניתן להתייחס לקרקע כאל משאב שאינו מתחדש. כמו קצב יצירת הקרקע, גם קצב סחיפת הקרקע משתנה במרחב ובזמן, ותלוי בין השאר בשימושי הקרקע ובמידת החיפוי הצמחי שעליה. בשטחים חקלאיים יש משמעות לסוג הגידול ולממשקי העיבוד המיושמים הכוללים שיטות עיבוד מגוונות - לעתים עיבוד משמר ולעתים עיבוד המעודד סחיפה. באירופה קצב אבדן הקרקע מוערך בטווח רחב שבין 3-40 טון להקטר לשנה, כאשר הערכים הגבוהים משויכים לקרקעות מעובדות (הקטר Hectare אחד שווה לשטח של 100X100 מטרים או 10 דונם) (Verheijen et al., 2009). ערכים אלה שווים ל-0.25 עד 3.33 מילימטרים בשנה, כלומר 2.5-33 ס"מ ב-100 שנה. למרות שבישראל כ-70% מכלל השטח המעובד מצוי בסכנת סחיפה בינונית וחמורה (זיידנברג וחובריו, 2006; הדס וחובריה, 2009) ידיעתנו לגבי אומדן קצב סחיפת הקרקע הינה חלקית ביותר. בצפון הנגב (קרקעות לס) נמצא כי קצב סחיפת הקרקע הממוצע בחצי השני של המאה ה-20 הינו 1.3, 4.5, ו-1.1 טון להקטר לשנה עבור קרקעות מעובדות, קרקעות באזורים נטועים וקרקעות בלתי מעובדות, בהתאמה (כהן, 2004). בצפון, קצב סחיפת קרקעות בלתי מעובדות במרכז ובדרום הנגב נמוך עוד יותר והינו קטן מ-0.1 טון להקטר לשנה (Yair, 1995; Yair & Klein, 1973). בצפון הארץ נמצא אובדן ממוצע של כ-20 ס"מ קרקע לאורך 50 שנה בקרקעות חקלאיות ברמת מנשה וברמת ישישכר (זיידנברג ושפירו, 2002).

ישראל ממוקמת במעבר בין האזור הים-תיכוני למדבריות הסהרה וערב ולכן מצויים בה מספר אזורים אקלימים, ממדבר קיצוני, דרך אזורים מדבריים וחצי-מדבריים, ועד לאזורים בעלי אקלים ים-תיכוני. יחד עם היסטוריה גיאולוגית מורכבת, ליתולוגיה וטופוגרפיה מגוונות וקצב צבירת אבק גבוה, קרקעות ישראל מגוונות מאד ומשתנות במרחב (Yaalon, 1997; Crouvi et al., 2013). בנוסף, פעילות אנושית מוגברת, בעיקר ב-100 שנים האחרונות, שינתה ומשנה את אופי הקרקעות ומהווה גורם חשוב נוסף במגוון הקרקעות בישראל. קרקעות ישראל נחלקות ל-23 חבורות קרקע ראשיות (איור 3) (Dan et al., 1976) המורכבות כל אחת משרשרת של טיפוסים קרקעות. מכאן שהמגוון של טיפוסים קרקע הוא רב ביותר (הרחבה 2 - קרקעות ישראל). אף כי כיום ניתן בעזרת האגרנטיקה להכשיר ולטייב קרקעות סלעיות, מלוחות או כאלו הסובלות מעודפי רטיבות, עדיין לא כל הקרקעות בישראל הוגדרו כראויות לעיבוד אלא רק כ-4.2 מיליון דונם (כ-20%), מתוך כלל שטח מדינת ישראל.

באופן כללי חסר מידע לגבי מגמות השינוי בתכונות קרקעות ישראל. רב המידע הקיים מבוסס על סקרי קרקע ברחבי הארץ, מעקב רב-שנתי ותצפיות שדה שנערכו על ידי המחלקה לסקר וייעוד קרקע במשרד החקלאות ופיתוח הכפר במשך עשרות שנים. מנתונים אלו נמצא כי במקרים רבים אין התאמה בין הגדרת הקרקעות וייעודן לשימוש חקלאי במפות סקר הקרקע הארצי שהוכנו ב-1952 לבין מצב הקרקעות ותכונותיהן באותן יחידות מיפוי כיום. ניתן לחלק את השינויים שחלו בתכונות הקרקע לשלושה, כאשר שלושתם קשורים להתערבות האדם (זיידנברג, 2013): א) איבוד קרקעות עקב סחיפה ועיור, ב) כיסוי קרקעות בחומרים חיצוניים ו- ג) המלחת קרקעות עקב השקיה במים מליחים או מי קולחין מושבים באיכות נמוכה.

התופעה של סחיפת אופקי הקרקע העליונים הפוריים וחשיפת אופקי הקרקע התחתונים עד כדי חשיפת סלע התשתית הייתה ידועה במשך שנים רבות בישראל (איור 3). יחד עם זאת, היקף התופעה, גורמיה ומשמעותה להמשך יכולת העיבוד והייצור לא תמיד הובנו. הטיפול במפגע התייחס בעיקר לערוצי הזרימה ולצמצום ההתחזרות, והתבצע בעיקר בשיטות הנדסיות. בפועל, התרחשו באותו זמן תהליכי סחיפה משטחית ואבדן קרקע במרחב כולו, ולא רק בתוואי האפקים. כך למשל מדידות השוואתיות בין 1952 ל-2002 בשני אזורים בצפון ישראל (רמת מנשה ורמת יששכר), המתאפיינים בעיבוד גידולי שדה, גילו כי עובי הקרקע קטן ב-20 ס"מ בממוצע במהלך 50 שנה (קצב ממוצע של 0.4 ס"מ לשנה) (זיידנברג, 2007; 2010). באזורים נרחבים בהם עובי הקרקע המעובדת היה רדוד, נחשפו סלעי התשתית ושטחים אלו יצאו ממעגל העיבוד. במקרים מסוימים תועדו אירועים בודדים של סחיפת קרקעות עקב אירועי גשם חריגים. למשל, ב-6 לאוקטובר 2006 באירוע גשם באגן נחל חרוד ויששכר נסחפו כ-600,000 מ"ק של קרקע חקלאית משטח של 120,000 דונם באזור עמק חרוד (הדס וחובריה, 2009). אחד מגורמי הסחיפה העיקריים הינו עיבוד לא משמר של הקרקע. פתרונות של עיבוד משמר ואי-פליחה מיושמים כיום להתמודדות עם התופעה הן בשדות עמק יזרעאל ועמק חרוד הן בנגב הצפוני (סבוראי וזיידנברג, 2011). איבוד משמעותי נוסף של קרקעות עידית נגרם על ידי תהליך העיור בישראל (ראה מטה).

תהליכי הסחיפה מסירים מפני השטח את האופק העליון הפורה יותר וחושפים אופקים קבורים שהם לרוב בעלי מרקם דק יותר, נוטה לאיטום ועם מעט חומר אורגני. גם סחיפה ערוצית בשטחים חקלאיים גורמת לפגיעה רחבה מעבר לתחום הערוץ עקב הגישה המידית של החקלאים למלא את הערוץ בחומר מן הסביבה הצמודה לערוץ ולרוב תוך העברת האופק העליון מקרקעות סמוכות לתוך הערוץ. במקביל לתהליכי הפגיעה בקרקע יש תהליכי הכשרה של קרקעות שוליות ויצירת קרקעות אנתרופומורפיות (קרקעות שהן פרי יצירת האדם). למשל באזורים המאופיינים על ידי קרקעות הרנדזינה הכהה הנוצרות בכיסי הסלעים, לרוב בסביבה של סלעים מסוג "נארי", חלים שינויים מהותיים בעשרות השנים האחרונות. מאחר ואלו שטחים שבאופן טבעי אינם ניתנים לעיבוד בשל הכיסוי הסלעי, בעשרות השנים האחרונות פועלים באזורים רבים להסרת סלע הנארי ולחשיפת הסלעים הרכים יחסית עליהם ובתוכם הוא נוצר. סלעים אלו כמו קירטון וחור ניתנים לפליחה ולהכשרה בעיקר למטעי זיתים. בפעולה זו הופכים שטחים שהוגדרו במפת הקרקעות בעבר כלא-ראויים לשימוש חקלאי, לשטחי עיבוד. תופעה זו נצפתה, נחקרה, ותועדה באזורים שונים בגליל התחתון (זיידנברג, 2007 ב). בתוספת של חומר אורגני נוצרו שטחי עיבוד רבים של קרקעות אנתרופומורפיות. עתודות קרקעיות כאלה מצויות בשטחים המשתרעים בעיקר בשולי משור החוף הדרומי, בשפלה הנמוכה ובגליל התחתון המערבי.

שינוי משמעותי נוסף המתרחש בשנים האחרונות בקרקעות ישראל הינו כיסוי קרקעות טבעיות בקרקעות או בחומר שנכרה בעת פיתוח תשתיות, לרוב לצרכי בינוי או תחבורה (איור 4). חומר זה מכונה לרוב "עודפי עפר" ומהווה מחד הזדמנות לשיפור הקרקע במידה והחומר בר עיבוד ומאידך הוא עלול להוות גורם מדלדל קרקע כאשר איכותו גרועה והוא מכסה קרקעות עידית כמפורט בהמשך. אף כי לתופעות אלה אופי מקומי של מאות עד אלפי דונם בכל אזור, המצרף יוצר מופע נרחב של קרקעות אנתרופומורפיות צעירות בכל רחבי מדינת ישראל. למשל, כיסוי קרקעות שבמצבן הטבעי אינן ראויות לעיבוד כגון אלוביוס מדברי גס וקרקעות מטיפוס רג על ידי חול "יבוא" הוא הבסיס לקיום החקלאות בערבה; מאז המצאת ההשקיה בטפטוף (על ידי המהנדס שמחה בלאס בשנת 1965) החול הפך למצע ראוי לעיבוד תוך שילוב הדישון במערכות הטפטוף. דוגמא עכשווית יותר הינה הצורך באיתור שטחים לסילוק חומרי כרייה בהיקף של עשרות מיליוני קוב עקב פיתוח מערכות תחבורה כגון רכבת העמק והרכבת לירושלים. חלק מחומרים אלו שנבדקו ונמצאו מתאימים משמשים לכיסוי שטחי חקלאות שניזוקו או לבניית מערכות שימור קרקע (למשל שיחים) במרחבי עמק יזרעאל ועמק חרוד. מאידך שימוש בחומרי כרייה מסלעי חוואר וגיר ממנהרות תוואי הרכבת לירושלים, שהם בעלי תכונות המזיקות לגידולים ולסביבה, מחייב אף הוא בדיקה מוקדמת והפניית החומר לאתרי סילוק שאינם מיועדים לגידול חקלאי. פעולת כיסוי בהיקף נרחב יותר, בעיקר בחומר חרסיתי, מתבצעת כיום בעמקי הצפון.

בגלל האילוץ להשתמש במים מליחים להשקיה חלו שינויים משמעותיים בתכונות הקרקע המונעים המשך הגידול הקיים. תופעות מסוג זה נצפו בנגב הצפוני, בבקעת הירדן הצפונית, בעמקי יזרעאל ובית שאן ועוד. דוגמאות בולטות הן תופעות של עלייה באחוז הנתרן החליף בקרקע (ESP) ועלייה ברמת הבורון בקרקע, ששיפורה כרוך בעלויות גבוהות עד לא סבירות. לעתים ניתנות הבעיות לפתרון בממשקי שטיפה, אולם מחסור במים באיכות מתאימה מונע יישום פתרונות אלה. הפגיעה באיכות הקרקעות המעובדות מתבטאת בפגיעה במבנה הקרקע, יצירת קרומים בפני השטח ועליה ברגישות הקרקע לתפיחה ופיזור תלכידים (dispersion) וסחיפה (ברששת, 2012). בעתיד הקרוב עם הגדלת ייצור המים המותפלים והעלאת איכות המים המטוהרים לרמה שלישונית, יש סיכוי שהיקף התופעות יפחת.

3.4.3 גורמים מחוללי שינוי

בישראל בני האדם משפיעים על הקרקעות מזה 11,000~ שנה, מאז המהפכה החקלאית בתקופה הניאוליתית (בר-יוסף וגרפינקל, 2008; Evenari et al., 1971). בסעיף זה אנו מזהים את גורמי השינוי העיקריים ביצירת הקרקע ובאיזונים על קרקעות ישראל.

3.4.3.1 שינויים בשימושי קרקע

התחרות על משאבי הקרקע לצרכים הממלכתיים המגוונים מקצה כיום שטחים בהיקף נרחב לשטחי אימונים ושטחי אש, לשטחי בינוי ולתשתיות ולשימושים אחרים כגון יער, שמורות טבע ומרעה. הפשרת שטחים חקלאיים לבינוי כמו גם פעילות אינטנסיבית בשטחי אימונים הם תהליכים בלתי הפיכים המשנים את תכונות הקרקע לעד. ייעוד קרקעות עידית לשימושים שאינם חקלאיים הוא אחד הגורמים לאיבוד שטחים עם פוטנציאל לעיבוד חקלאי. מסיבה זו המגמה של שינוי תלך ותתרחב כאשר הדרישה להרחבת החקלאות תכוון להכשרת שטחים שוליים שכיום משמשים למרעה, לחורש טבעי או ליער. בכל אחד משימושי השטח הנוכחיים חלות תמורות בקרקע ובסביבה. כל למשל בשטחי אימונים של הצבא באזור הנגב, כותשים כלי הרכב המשוריינים את הקרקעות ומיצרים חומר דק, לרוב סילטי שהופך לאבק הזמין לתנועה ברוח. קרקעות אלו גם מתקרמות במהירות רבה עם מכת טיפות הגשם ומגבירות את קצב היווצרות הנגר והסחיפה. מאידך בתהליכי עיור במידה ואין הכוונה נאותה של עודפי המים יש עליה בספיקות ולעתים

נגר המים מופנה לשטחים הפתוחים בהם הוא יוצר נזק. גם בשטחי החקלאות, במידה ואין מיישמים בהם עיבוד משמר, נתונים לסחיפה הגורמת לשינוי בתכונות הקרקע. במידה ומשתמשים במים מליחים חלה לאורך זמן המלחת הקרקע אם לא מבצעים שטיפה במים שפירים. בהינתן הקצב האיטי של יצירת הקרקע, שימושי קרקע לא מתאימים ולא משמרים יכולים לשנות את תכונות הקרקע בתוך שנים ספורות בלבד.

3.4.3.1.1 עיור

כאשר משתמשים בקרקע לבניית תשתיות, כגון בתי מגורים, כבישים ומבנים תעשייתיים, אובדן הקרקע כמשאב בפני עצמו הוא מוחלט, ובמקרים רבים בלתי הפיך. לעתים תכופות, התרחבות אורבנית נעשית על חשבון קרקע טובה לחקלאות מכיוון שאוכלוסיות האדם התיישבו באופן היסטורי באזורים פוריים הסמוכים למקורות מים. בישראל, עיור הוא הגורם העיקרי לאיטום קרקעות. במהלך מחצית המאה ה-20 אוכלוסיית ישראל גדלה פי 8 בין השנים 1948 ל-2001 (Bar-Or and Matzner, 2010). באותה תקופה השטחים הבנויים גדלו פי 17 על חשבון שטחים פתוחים וחקלאיים. סך המרת השטחים החקלאיים לטובת עיור עומד על כ-1,500 הקטר בשנה בין השנים 1986-2008, ללא שינוי הנראה לעין בקצב איבוד השטח (Gal & Hadas, 2013). מאחר ורב אוכלוסיית ישראל מתגוררת במרכז ובצפון הארץ, אזורים בהם מצויות קרקעות פוריות יותר מאשר בנגב, קרקעות אלו נפגעות יותר מאשר הקרקעות בדרום ישראל.

3.4.3.2 שינויי אקלים

שינויי האקלים מהווה איום על הקרקעות בישראל, אך איום זה משתנה בהתאם לסוג הקרקע וללחצים נוספים שיופעלו על הקרקעות. על פי הדו"ח הרביעי של הפאנל הבין ממשלתי לשינויי אקלים (IPCC, 2007) ההתחממות הגלובלית היא עובדה מדעית, והיא תמשיך להתרחש בקצב שתלוי בעיקר בקצב הפליטות של גזי חממה ממקור אנושי. ההתחממות הגלובלית הצפויה עד סוף המאה ה-21 על פי תרחיש פליטות מתון היא של כ- 2.8°C בממוצע עולמי. להתחממות זו צפויים להתלוות עלייה בתדירות ובעוצמה של גלי חום, שינויים נרחבים במשקעים ובאירועי מזג אוויר קיצוניים ועלייה במפלס הים.

אנגרט ואילסר (2007) בחנו שני תרחישים סבירים לגבי השפעות ההתחממות הגלובלית על ישראל. על פי התרחיש הראשון, שהוא תרחיש מתון יחסית של התחממות גלובלית לא מרוסנת (במקרה של אי נקיטת פעולה לצמצום פליטות גזי חממה), תחול התחממות בישראל של כ- 3.3°C בקיץ, עלייה בתכיפות, בעוצמה, ובמשך של גלי חום, ירידה של 20-30% בכמות המשקעים השנתית, ירידה במספר ימי הגשם, ועלייה במספר אירועי הגשם בעוצמה גבוהה. בהקשר של קרקעות ישראל, ההשפעה הישירה של שינויים אלו תגרום להגברת הנגר העילי ולירידה בכיסוי הצומח, אשר יגרמו להגברת קצב הסחיפה של הקרקעות (אנגרט ואילסר, 2007). כלומר, שינויי האקלים צפויים להעצים את בעיית סחף הקרקע אשר גם כיום מהווה את האיום הגדול ביותר על קרקעות ישראל עקב פעילות האדם. בנוסף, הגברת הנגר העילי והעלייה באידוי צפויה להקטין את כמות המים המחלחלים אל הקרקע ושוטפים אותה ולכן תגרום לצבירת מליחים קלי תמס בתוך הקרקע (המלחה) (אנגרט ואילסר, 2007). הירידה בכמות המשקעים תגרום להשקיה חקלאית מוגברת במי קולחין, דבר אשר צפוי להחריף עוד יותר את בעיית המלחת הקרקע הקיימת ממילא גם כיום. הירידה בכמות הגשם השנתית והתרחבות המרווחים בין אירועי הגשם, יחד עם העלייה בטמפרטורה ובאידוי, עלולה להקטין את יצרנות הצומח, וכתוצאה מכך את כמות החומר האורגני בקרקעות (אנגרט ואילסר, 2007). התגברות הנגר תגרום לעלייה בשכיחות ובעוצמת השיטפונות, אשר צפויים לפגוע בקרקעות חקלאיות המצויות במורד הנחלים. על פי התרחיש השני, תרחיש של התחממות גלובלית מרוסנת (כלומר אם תיבחר הדרך של

התמודדות עולמית עם שינויי האקלים דרך צמצום פליטות של גזי חממה) והיערכות מראש בישראל להתמודדות עם התחממות זו, ההשפעות על ישראל צפויות להיות מתונות בהרבה.

שינוי אקלים יכול גם לשנות את העוצמה, התדירות, הקצב ואופי תהליכי יצירת הקרקע. חלק מההשפעות מרחיקות הלכת ביותר יתרחשו כנראה באזורי חוף הים התיכון, בהם שינויי האקלים יגרמו לעליית מפלס מי הים. עליית המפלס תגרום לנסיגה מוגברת של חוף הים מזרחה ולהגברת קצב קריסת המצוק החופי. נדידת המצוק החופי מזרחה תוביל לאיבוד קרקעות חקלאיות קיימות כיום בקרבת שפת המצוק. במקומות בהם המצוק החופי אינו קיים (למשל בשפכי נחלים) הצפת מי הים תגרום לשינויים או לנזקים משמעותיים לקרקעות באותן אזורים.

3.4.4 תוצאות השינוי

ישנן השפעות רבות לאבדן הקרקע, או שינוי בקצב יצירת קרקע, עבור השירותים התומכים האחרים, ועבור שירותי ויסות ואספקה בהם הם תומכים. אפילו אובדן חלקי או שינוי של פני השטח משפיעים משמעותית על אספקת שירותים אחרים. לדוגמה, אובדן מלא או חלקי של הקרקע מביא לפגיעה ביכולת אספקת הנוטריינטים, דבר שמפיע על היצרנות הראשונית ועל כמות ואיכות שירותי הויסות והאספקה של המים. כמו כן, אובדן קרקע מלא או חלקי יכול להפחית את יכולתנו לייצור מזון וסיבים, דבר שתלוי בשמירה על פוריות הקרקע. לדוגמה, אם ימשך תהליך העיור בקצב הנוכחי, קרקעות בשטח של כ-1,500 הקטר נעלמות בישראל בשנה אחת.

3.4.5 הצעות לניהול בר-קיימא

היווצרות קרקע היא תהליך ארוך, בעוד שאובדן קרקע הוא תהליך מהיר. הכרה בעובדות הללו הובילה רבים לקרוא לפיתוח אסטרטגיה לטווח ארוך לשימוש בקרקע, שתיקח בחשבון את סדרי הגודל המתאימים ליצירת קרקע ותתחשב בסנירגיה המורכבת שבין תהליכים יוצרי-קרקע. לפיכך אחד השלבים הראשונים לשימור הקרקע מתחיל בהטמעת המודעות לעובדה זו שמשמעותה שהקרקע היא משאב מתכלה עם גבולות סופיים. כל שימוש לא מושכל עלול ליצור תהליכים בלתי הפיכים ולפיכך הגורמים המשתמשים בקרקע צריכים לגבש מדיניות שימור שתמנע תופעות אלו. במשרד החקלאות האמון על שימור הקרקע החקלאית מתבצעים החל מקום המדינה ואף קודם לכן תהליכי שימור קרקע באמצעים שונים. הגישות ההיסטוריות התבססו על אמצעים הנדסיים כגון בניית שיחים, תעלות ניקוז, ניקוז תת קרקעי טרסות עיבוד וכדומה. במהלך השנים הורחבו השיטות לשיטות אגרוטכניות שכוללות עיבוד משמר באמצעות מזרעות אי פליחה ובשנים האחרונות הוכנסו שיטות של חיפוי צמחי, עידוד השימוש בזבל אורגני וקומפוסט לבניית מבנה קרקע עמיד יותר לסחיפה וכדומה. פיתוח חקלאות משמרת המשמרת את משאבי הקרקע והסביבה היא אחת המטרות של משרד החקלאות באמצעות האגף לשימור קרקע וניקוז (זיידנברג וחובריו, 2007).

3.4.6 פערי ידע

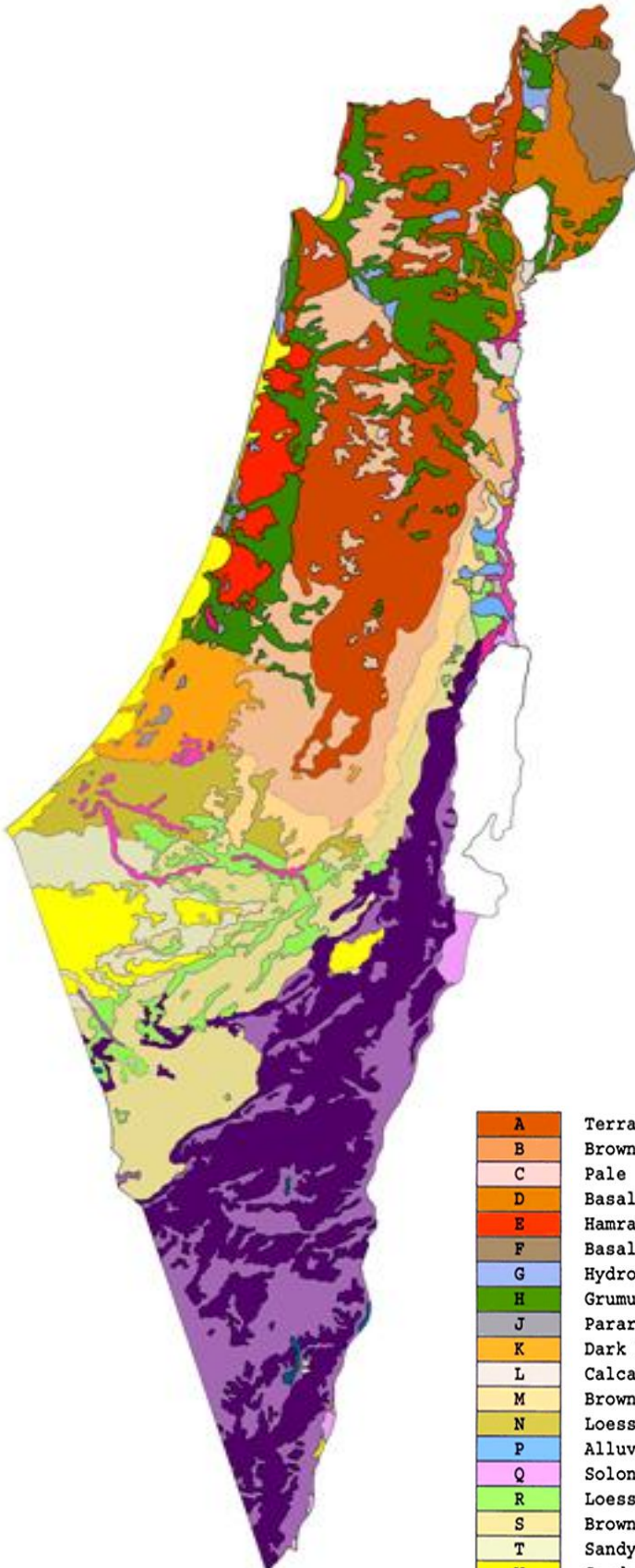
למרות שחלה התקדמות רבה בהבנתנו את תהליכי יצירת הקרקע, עדיין קיימים פערי ידע רבים בנושאים של קצבי בליית סלעים, קצבי צבירת האבק בקרקעות, השפעת הטופוגרפיה של יצירת הקרקע ועוד. כמו כן, ידע זה מוגבל לסוגי קרקעות מסוימים בלבד. כמו כן, הבנתנו את תהליכי סחיפת קרקעות, ושינויים בזמן ובמרחב, גם היא מוגבלת. ישנן שיטות שונות להערכת קצב סחיפת קרקע הנבדלות ביניהן בסקלות המרחביות והעיתיות, אך כיום אין מידע כמותי לגבי קצב סחיפת הקרקעות בישראל. ישנן כמה עבודות אשר העריכו במקומות מסוימים את קצב הסחיפה (זיידנברג וחובריו, 2002; כהן, 2004) אך חסרה תמונה כוללת של קצב סחיפת הקרקעות בישראל. כמו כן, אין

מידע לגבי השתרעות התופעה – כמה קרקע אבדה במרוצת השנים? קיימות מפות פוטנציאל המראות את פוטנציאל הקרקע לסחיפה (Yang et al., 2003) אך אין מידע כמותי בנושא. מודלים יכולים לגשר על פער המידע הזה (למשל מודל PERSERA (Kirkby et al., 2008)). בישראל נעשו מאמצים בשנים האחרונות לכמת את תופעת סחיפת הקרקעות באזורים מסוימים. אולם, בעולם, כמו גם בישראל, עדיין יש אי-התאמה בין מדידות סחיפת הקרקע בשדה לבין תוצאות המודלים, דבר המגביל את היכולת שלנו לחזות את השינוי בקצבי הסחיפה במרחב וכתלות בתסריטים שונים של שינויי אקלים. כמו כן, עדיין לא נעשה ניסיון למדל את סחיפת הקרקעות בישראל בסקלה ארצית (כפי שנעשה למשל עבור כל אירופה, ראה לדוגמא Kirkby et al., 2008).

קרקע היא גם בית גידול בפני עצמה ולכן שינוי בתהליכי יצירת הקרקע ובייחוד, סחיפת והמלחת קרקעות, עלול להשפיע על בית הגידול ועל המגוון הביולוגי שבקרקע, כמו גם על להשפיע על הקשרים עם המגוון הביולוגי מעל פני הקרקע. לפיכך, רגישות ותגובות בתי הגידול לשינויי אקלים ולעליית מפלס מי הים יהיו תלויות, בחלקן, בתגובות התהליכים שבקרקע. שינויי אקלים יוביל לשינוי בשימוש הקרקע כתוצאה משינויים בהתאמת הקרקע לחקלאות, יער ויצור אנרגיה מתחדשת, כמו גם לחצים עקיפים מגידול האוכלוסייה. למרות מאמצים שנעשו בנדון (אנגרט ואילסר, 2007), התוצאות של לחצים כאלו על יצירת קרקע כמעט שאינן ידועות.

סחיפת קרקע על ידי רוח מוסיפה אף היא לדלדול קרקעות. למרות שנעשים מאמצים בשנים האחרונות ללמוד את היקף התופעה, ובייחוד את הפוטנציאל של קרקעות שונות בישראל לסחיפה על ידי רוח (Bacon et al., 2011; Katra et al., 2012), נושא זה עדיין בחיתוליו.

מפה 1: מפת חבורות קרקעות ישראל בקנה"מ 1:500,000 (Dan et al., 1976). קרקעות ישראל מחולקות ל-23 חבורות קרקע ראשיות כאשר כל חבורת קרקע מורכבת משרשרת של טיפוסים קרקעיים. ניתן לראות את השונות בחבורת הקרקע כתלות באזורי האקלים של ישראל, בתפוצת הסלעים ובטופוגרפיה.



A	Terra rossa, brown rendzinas and pale rendzinas
B	Brown rendzinas and pale rendzinas
C	Pale rendzinas
D	Basaltic protogrumusols, basaltic brown grumusols and pale rendzinas
E	Hamra soils
F	Basaltic brown mediterranean soils and basaltic lithosols
G	Hydromorphic and gley soils
H	Grumusols
J	Pararendzinas
K	Dark brown soils
L	Calcareous serozems
M	Brown lithosols and loessial arid brown soils
N	Loessial arid brown soils
P	Alluvial arid brown soils
Q	Solonchaks
R	Loessial serozems
S	Brown lithosols and loessial serozems
T	Sandy regosols and arid brown soils
V	Sand dunes
W	Regosols
X	Bare rocks and desert lithosols
Y	Reg soils and coarse desert alluvium
Z	Fine grained desert alluvial soils



איור 3: דוגמא לסחיפת קרקע עכשווית בשטח חקלאי מול קיבוץ דליה ברמת מנשה. הקרקע כה רדודה עד שהסלע הקירטוני נחשף. צילום: רמי זיידנברג



איור 4: פיזור קרקע מעודפי כריית תוואי מסילת רכבת העמק בשטחים שהקרקע נסחפה בהם עד כדי חשיפת התשתית הסלעית. צילום: רמי זיידנברג

3.5. מחזור חומרי הזנה

3.5.1. כללי

המחזוריים הביו-גאו-כימיים מתארים את זרימת החומרים במערכת האקולוגית והם, יחד עם זרימת האנרגיה, הבסיס לתפקוד המערכת האקולוגית ולשירותי המערכת האקולוגית. הבנת המחזוריים הללו חשובים בכדי להבין את מקור חומרי הבנין של כל היצורים אשר יחד מהווים את המגוון הביולוגי. חומרי בנין אלו לא עוברים מאב לבן, אלא הם תולדה של תהליכים אקולוגיים והדינמיקה של התהליכים האקולוגיים של קליטה ופירוק חומרים כימיים מהסביבה ומיחזורם. תהליך ה מהווה חוליה במחזוריים הביו-גאו-כימיים הגלובליים.

היסודות הכימיים שבונים את גופם של היצורים החיים מגיעים מהחומרים מהם בנוי כדור הארץ. אנרגיה מהשמש, יחד עם אנרגיה רדיואקטיבית מליבת כדור הארץ, מניעות את התהליכים הביולוגיים, הגאולוגיים והכימיים שמשנים את היסודות ומניעים אותם על פני כדור הארץ. יסודות אלו נעים במחזוריות במערכת האקולוגית העולמית ומהווים מרכיבים חשובים בגאוספרה/הליתוספרה, באטמוספרה ובכיוספרה. עם זאת, יסודות אלו לא תמיד מצויים במקום בו הם נדרשים ליצורים החיים, ולכן הם עשויים להגביל או להגביר את ההישרדות שלהם.

הקצב והכמות שבהם נעים החומרים מכונה השטף, והמקומות בהם הם מצויים נקראים המאגרים. המאגרים הראשיים הם האטמוספרה - האוויר סביבנו, הגאוספרה/הליתוספרה - הקרקעות והסלעים שעל פני כדור הארץ, וההידרוספרה - מאגרי המים המתוקים והמלוחים על פני היבשה, בקרקע, באקוות מי התהום, בימים, בנחלים, בנהרות, בביצות, בימים ובאוקיינוסים. במאגרים אלו החומרים נמצאים בעיקר במצב אנ-אורגני. בנוסף, המאגר הרביעי בו מצויים החומרים הוא הביוספרה - גופם של היצורים החיים. היצורים החיים כמובן יכולים להיות באטמוספרה, בגאוספרה או בהידרוספרה, אך הם מאגר מיוחד כיון שהחומרים נמצאים בהם כחומר אורגני. חשוב לציין שמאגר זה כולל את גופם החי של היצורים אך גם את גופותיהם המתות.

אמנם מקור היסודות שבונים את גופם של היצורים הוא מכדור הארץ, אך הדרכים בהם הם משיגים אותם מגוונים. יצרנים ראשוניים (אוטוטרופיים), כמו צמחים ואצות, המסוגלים לקבוע את אנרגיית השמש ולהתמיר אותה לאנרגיה כימית (בסוכר), מסוגלים גם לקלוט חלק מהחומרים ישירות מהקרקע או מהמים או מהאוויר ולהטמיע אותם בתרכובות אורגניות אשר בונות את החומר החי (הביומסה). לעומתם, יצרנים שניוניים (הטרוטרופים), הניזונים מיצורים אחרים, מקבלים את היסודות הכימיים דרך החומר החי שהיצרנים הראשוניים יצרו. חלק מהיצורים חיים בשיתוף (סימביוזה) עם מיקרואורגניזמים המסוגלים לקלוט את היסודות הכימיים ולהתמיר אותם לצורות זמינות למארחים/פונדקאים שלהם. בתהליך הנשימה והפוטוסינתזה נפלטים חלק מהיסודות הכימיים חזרה מגופם של היצורים החיים. אחרי שיצורים מתים, גופם מפורק על ידי מארג מזון של מפרקים והמינרלים חוזרים למערכת האקולוגית בצורות זמינות לקליטה על ידי יצרנים ראשוניים. אם הם אינם נקלטים על ידי יצרנים ראשוניים, הם נאגרים בקרקע, במים או בסלעי משקע.

3.5.2. מחזור הפחמן

פחמן הוא מרכיב בסיסי בכל המולקולות הגדולות והמרכזיות בגופם של יצורים חיים, ומרכיב חשוב לא פחות במרבית המולקולות שאוצרות אנרגיה בתהליכי המטבוליזם שלהם. יצרנים ראשוניים מסוגלים לקלוט את גז הפחמן הדו-חמצני מהאטמוספרה ולקבוע אותו בתרכובות אורגניות. כל שאר היצורים מקבלים את הפחמן כשהם ניזונים מהיצרנים הראשוניים או ממי שניזון מהם. נשימת יצורים חיים מחזירה פחמן לאטמוספרה וכשגופם מפורק בתהליכים

ביולוגיים, כימיים ופיזיקליים לאחר מותם וחלק מהפחמן חוזר למאגרים האנ-אורגניים. חלק נוסף של הפחמן האורגני אצור בדלקים מחצביים, בסלעים ובמשקעים בקרקע ובאוקיינוסים.

3.5.3. מחזור החנקן

מחזור החנקן הכרחי לקיום החיים על פני כדור הארץ. חנקן הוא אבן יסוד מרכזית בתרכובות אורגניות, במיוחד בחלבונים, ולכן הכרחי לקיומם של כל היצורים החיים. בצמחים החנקן מהווה 5 עד 30 אחוז מהמשקל היבש ובבעלי חיים אחוזים אלו אף גבוהים יותר. עם זאת, מרבית החנקן מצוי כיסוד גזי באוויר - צורה שאינה זמינה למרבית רכיבי המגוון הביולוגי. בעוד המים מהווים גורם מגביל עיקרי לייצור הראשוני בכל המערכות האקולוגיות היבשתיות של ישראל, החנקן הוא הגורם המגביל המשני. החנקן נעשה לגורם מגביל עיקרי ליצרנות הראשונית כאשר כמות המים גדולה מהכמות המגבילה.

חנקן מוסע בביוספרה במחזור החנקן הגלובלי. חנקן מהאטמוספירה ניתן לקיבוע לתרכובות כימיות זמינות לצמחים ואצות על ידי רכיב מגוון ביולוגי בעל חשיבות מרובה - חיידקים, וגם על ידי תהליכים א-ביוטיים. חיידקים הם גם אלו שמוסגלים לפרק את החומר האורגני ולשחרר חזרה לקרקע או למים את תרכובות החנקן בצורה שזמינה לצמחים וליצרנים ראשוניים אחרים - אצות, חיידקים, ויצורים זעירים אחרים. כיון שחנקן הוא יסוד חיוני לגופם של יצורים חיים, התהליכים שמקיימים החיידקים קובעים בבתי גידול רבים את זמינות החנקן ליצרנות ראשונית.

מחזור החנקן מורכב ממספר שלבים עיקריים:

1. קיבוע חנקן שנמצא באוויר לאמוניה ואמוניום על ידי חיידקים ועל ידי תהליכים א-ביוטיים.
2. חימצון (ניטריפיקציה) של תרכובות החנקן על ידי חיידקים המחזרים אמוניה ואמוניום לניטראט.
3. קליטת אמוניום, אמוניה או ניטראט על ידי צמחים ויצורים פוטוסינתטיים אחרים והטמעתם בחומר האורגני ממנו בנוי גופם.
4. פירוק החומר האורגני על ידי החיידקים ושחרור אמוניה ואמוניום (חזרה לשלב 2- ניטריפיקציה).
5. חיזור הניטראט על ידי חיידקים בתהליך דה-ניטריפיקציה ויצירת גז חנקן אטמוספרי (שלב 0).

מאגר החנקן הגדול ביותר הוא האטמוספירה, והוא מכיל פי מיליון יותר חנקן מאשר בכל יצורי המגוון הביולוגי הגלובלי כולו. מאגרים נוספים מצויים בחומר אורגני בקרקע ובאוקיינוסים, שמקורו בגופות המתות של כל היצורים, והם מקור מרבית החנקן של מכלול המערכות האקולוגיות של כדור הארץ, כמו גם של אלה בישראל.

3.5.4. גורמי השינוי

מרבית הידע שלנו על מחזורי החומרים הוא ברמה העולמית. יתר על כן, חלק מכל מחזורי החומרים מתקיים באטמוספירה ובאוקיינוסים, ולכן הם מושפעים מאד מתהליכים עולמיים. עם זאת, תהליכים מקומיים יכולים ליצור שינויים מקומיים. לדוגמה, ייעור יגדיל את הטמעת פחמן דו חמצני לחומר אורגני. גם דישון בחנקן יגדיל את הטמעת הפחמן הדו חמצני לחומר אורגני, אך אם הדשן יגיע ללמערכות מים (מערכות ימיות ומערכות המים הפנים-ארציות) הוא עשוי לגרום גם לצמצום כמות החמצן באותה מערכת.

ריכוז הפחמן האטמוספרי עולה כתוצאה מפעילות האדם, בעיקר כתוצאה משריפת דלקים מחצביים, שריפת יערות וכריתתם, המשחררים לאטמוספירה את הפחמן שהיה אגור בהם. גז הפחמן הדו-חמצני וגז המתאן הם שניהם גזי חממה ותורמים לשינוי האקלים. העלייה בריכוז הפחמן האטמוספרי ממותנת על ידי היצרנות הראשונית, המטמיעה חלק מהפחמן לחומר אורגני, אך המידע על קצבי קיבוע הפחמן בתנאי שינויי אקלים באזורינו יחסית מועט.

מחזור החנקן מופרע על ידי פעילות האדם בשלוש דרכים עיקריות:

- דישון שטחים חקלאיים
- הזרמת שפכים
- פליטות וזיהום אוויר

ב-50 השנים האחרונות המגמה העיקרית במחזור החנקן בעולם הייתה העשרה של בתי גידול יבשתיים בחנקן כתוצאה מדישון ושקיעה מהאטמוספירה של תרכובות חנקן במערכות טבעיות-למחצה. העשרה זו נצפתה באמצעות ניתוח שינויים בקנה מידה לאומי של הרכב מיני הצומח בין שנת 1990 ו-1998, אשר חשפה העשרה בנוטריינטים בכמה סוגי צמחיה (Smart et al., 2003). כתוצאה, בתי גידול טבעיים נתונים להטמעת חנקן והעשרה לא-מכוונת בחנקן. להעשרה זו השפעה בעיקר על מערכות אקוטיות שבהן העשרה גורמת לעליה גדולה של יצרנות ראשונית (פריחת אצות) שמלווה שעיתים קרובות בפגישה משמעותית במגוון המינים. זאת מכיוון שרוב מיני הצמחים על פני כדור הארץ התפתחו בתנאים של מיעוט חנקן, והם נעלמים כאשר ריכוזי החנקן גבוהים. יתרה מכך, לרוב לאחר העליה הגדולה ביצרות יש תמותה גדולה המלווה בתהליכי ריקבון והעלולה למוטט את המערכת האקולוגית. בנוסף, רמות גבוהות של חנקות במי שתייה הן רעילות לבני-אדם. מנתונים שנאספו על ידי הלשכה המרכזית לסטטיסטיקה לגבי המערכות החקלאיות (למ"ס, 2012), בישראל ניכר כי ישנה העשרה של הקרקע החקלאית בחנקן וזרחן מעבר לצריכה של הגידולים החקלאיים. עודפים אלו עלולים לגרום לזיהום מקורות מים, לפליטות גז אמוניה ולפגיעה בתת הקרקע.

3.5.5. פערי ידע

למרות שמחזור הפחמן נחקר ומוכר טוב יחסית ברמה העולמית, מעט מאד ידוע עליו ברמה המקומית. כמו מרבית מדינות העולם, אנחנו חסרים במידע על המאגרים והשטפים של הפחמן ברזולוציה מקומית. אנו יודעים על עליית הפליטות לאטמוספירה אך לא קיימת הערכה על השטפים חזרה לביוספירה, לליתוספירה ולהידרוספירה.

3.6. אספקת בית גידול

3.6.1. כללי

מגוון מינים ואספקת שירותי מערכת תלויים בקשר בין פרטים ומינים שזקוקים באופן ישיר לקיום בית גידול באיכות מספקת. המערכת האקולוגית בעצם קיומה ותפקודה 'מייצרת' נישות אקולוגיות לייצורים השונים ובכך מאפשרת את קיומם (ואת המשך ההתרבות) של ייצורים מסוימים שיש מהם תועלת ישירה לאדם וגם מאפשרת את קיומו של מגוון ביולוגי גבוה שחלק מהשירותים תלויים בהם.

בתי גידול מספקים את כל מה שצמח או בעל חיים בודדים צריכים בכדי לשרוד: מזון; מים; ומקלט. מערכות אקולוגיות מספקות בתי גידול שונים שיכולים להיות חיוניים למחזור החיים של המין (TEEB, 2015). לדוגמא, מינים נודדים, כולל ציפורים, דגים, יונקים וחרקים תלויים במערכות אקולוגיות שונות במהלך תנועותיהם. כדוגמא נוספת, שירותי המערכת האקולוגית הקשורות לאיכות המים וממתנות את הזרימה (כלומר, הגנה מפני שיטפונות) משופרות על ידי עלייה בשטח בית הגידול (Harrison et al., 2014). שירות אספקת בית הגידול מסובך יחסית להגדרה ומדידה מכיוון שהוא יכול, מצד אחד, להיות מקושר עם שירותים אחרים המסתמכים עליו ישירות (לדוגמא, דיג) ומצד שני הוא מתייחס למרכיבי המגוון הביולוגי ולפונקציות האקולוגיות (Liquete et al., 2016).

3.6.2. גורמים מחוללי שינוי

בישראל הגורם מחולל השינוי העיקרי באספקת בית גידול הינו הרס והדרדרות המצב של בתי גידול טבעיים. אובדן בתי הגידול קשור להרס, קיטוע וזיהום, הנגרמים מתהליכי הפיתוח המואץ, ובעיקר עיור והגדלת שטחי החקלאות על חשבון שטחים טבעיים. לאובדן בתי הגידול הטבעיים השפעה שלילית ישירה על אספקת בית הגידול. אובדן מלא או חלקי של הקרקע מביא לפגיעה ביכולת אספקת הנוטריינטים, היצרנות הראשונית וכמות ואיכות שירותי הויסות והאספקה של המים. כל אלו יפגעו ביכולת של בית הגידול להתקיים ולספק נישות אקולוגיות לייצורים השונים.

3.6.3. תוצאות השינוי

ברור, כי כל שינוי בבית הגידול יגרום לשינוי בשירותי אספקת בית הגידול, וההשפעה תהיה גדולה יותר ככול שהשינוי לעומת בית הגידול הטבעי יהיה גדול יותר. לדוגמא, מעבר של שטח טיבעי לשטח שבו יש חקלאות מסורתית יפגע בשירותי אספקת בית הגידול פחות מאשר מעבר לחקלאות אינטנסיבית. ההשפעה של השינוי על שירותי אספקת בית הגידול תהיה שונה ממין ולמין. לדוגמא, פגיעה במשטחי עשב ים עקב זיהום עלולה לפגוע ביכולת ההתרבות של מיינים שזקוקים לעשב הים כאזורי אומנה, אך מינים אחרים שחיים גם במשטחי חול יפגעו פחות (Turner et al., 2014).

3.6.4. הצעות לניהול מקיים/בר-קיימא

כל ממשק שיקטין את הפגיעה בבתי הגידול הטבעיים יעזור להבטחת שירות אספקת בית גידול. בנוסף, הבטחת הקישוריות בין בתי גידול שונים הכרחית לאספקת בית גידול לכל שרשרת החיים של מינים ניידים או נודדים העוברים מספר בתי גידול לאורך חייהם. אולם, מידת השטח הנדרש ומידת הקישוריות ההכרחית לצורך הבטחת מחזור החיים המלא תלויה במאפייני המין הספציפי.

3.6.5. פערי ידע

שירות אספקת בית הגידול הוא אחד השירותים הקשים ביותר לכימות, מכיוון שהוא מטיבעו ייחודי לכל מערכת אקולוגית, ובנוסף גם משתנה בין מין למין. לכן, כיוון מחקר עיקרי כולל הבנה של כיצד למדוד שירותי אספקת בית גידול בצורה שתאפשר כימות של שירות חשוב זה (Liquete et al., 2016). בנוסף, דרוש מחקר פרטני למיני מפתח בכל בית גידול כדי להבין את הקשר בין בתי הגידול השונים ואת ההשפעה של שינוי בייעודי קרקע על המינים השונים, החברה האקולוגית ויכולתה לספק את שירותי המערכת.

- Balvanera, P., Pfisterer, A. B., Buchmann, N., He, J. S., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., & Schmid, B. (2006). Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology letters*, 9(10), 1146-1156.
- Cadotte, M. W., Cardinale, B. J. & Oakley, T. H. (2008). Evolutionary history and the effect of biodiversity on plant productivity. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105(44): 17012–17017.
- Campbell, V., Murphy, G. & Romanuk, T. N. (2011). Experimental design and the outcome and interpretation of diversity-stability relations. *Oikos*, 120, 399-408.
- Cardinale, B. J., Srivastava, D. S., Duffy, J. E., Wright, J. P., Downing, A. L., Sankaran, M., & Jouseau, C. (2006). Effects of biodiversity on the functioning of trophic groups and ecosystems. *Nature*, 443(7114), 989.
- Cardinale, B. J., Matulich, K. L., Hooper, D. U., Byrnes, J. E., Duffy, E., Gamfeldt, L., ... & Gonzalez, A. (2011). The functional role of producer diversity in ecosystems. *American journal of botany*, 98(3), 572-592.
- Cardinale, B. J., Duffy, J. E., Gonzalez, A., Hooper, D. U., Perrings, C., Venail, P., ... & Kinzig, A. P. (2012). Biodiversity loss and its impact on humanity. *Nature*, 486(7401), 59.
- Cottingham, K. L., Brown, B. L. & Lennon, J. T. (2001) Biodiversity may regulate the temporal variability of ecological systems. *Ecology Letters*, 4, 72-85.
- Diaz, S. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 20684-20689.
- Duffy, J. E. (2009). Why biodiversity is important to the functioning of real-world ecosystems. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(8), 437-444.
- Ehrlich, P. R. & Ehrlich, A. (1981). *Extinction: the causes and consequences of the disappearance of species*. Random House Publishing.
- Estes, J. A. (2011). Trophic downgrading of planet earth. *Science*, 333, 301-306.
- Fischer, J., Lindenmayer, D. B., & Manning, A. D. (2006). Biodiversity, ecosystem function, and resilience: ten guiding principles for commodity production landscapes. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 4(2), 80-86.
- Flynn, D. F. B., Mirotchnick, N., Jain, M., Palmer, M. I. & Naeem, S. (2011). Functional and phylogenetic diversity as predictors of biodiversity-ecosystem-function relationships. *Ecology*, 92, 1573-1581.
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., ... & Helkowski, J. H. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574.
- Hector, A. (2010). General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony and overyielding. *Ecology*. 91, 2213-2220.
- Hooper, D. U. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, 75, 3-35.
- Hooper, D. U., Adair, E. C., Cardinale, B. J., Byrnes, J. E., Hungate, B. A., Matulich, K. L., ... & O'Connor, M. I. (2012). A global synthesis reveals biodiversity loss as a major driver of ecosystem change. *Nature*, 486(7401), 105.

- Hooper, D. U., Chapin, F. S., Ewel, J. J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., ... & Schmid, B. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: a consensus of current knowledge. *Ecological monographs*, 75(1), 3-35.
- Ives, A. R. & Carpenter, S. R. (2008). Stability and diversity of ecosystems. *Science*, 317, 58-62.
- Jax, K. (2010). *Ecosystem Functioning*. Cambridge University Press.
- Jiang, L. & Pu, Z. C. (2009). Different effects of species diversity on temporal stability in single-trophic and multitrophic communities. *The American Naturalist*, 174, 651-659.
- Loreau, M. & Hector, A. (2001). Partitioning selection and complementarity in biodiversity experiments. *Nature*, 412, 72-76.
- Lovelock, J. (1979). *Gaia: A New Look at Life on Earth*. Oxford University Press.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well Being: Current State and Trends: Findings of the Condition and Trends Working Group*. Washington DC: Island Press.
- Quijas, S., Schmid, B. & Balvanera, P. (2010). Plant diversity enhances provision of ecosystem services: A new synthesis. *Basic and Applied Ecology*, 11, 582-593.
- Schmid, B., Balvanera, P., Cardinale, B. J., Godbold, J., Pfisterer, A. B., Raffaelli, D., ... & Srivastava, D. S. (2009). Consequences of species loss for ecosystem functioning: meta-analysis of data from biodiversity experiments. in *Biodiversity, Ecosystem Functioning, and Human Wellbeing: An Ecological and Economic Perspective* (eds Shahid Naeem et al) (pp. 14-29). Oxford University Press.
- Shurin, J. B. A (2002). Cross-ecosystem comparison of the strength of trophic cascades. *Ecology Letters*, 5, 785-791.
- Srivastava, D. S. (2009). Diversity has stronger top-down than bottom-up effects on decomposition. *Ecology*, 90, 1073-1083.
- Stachowicz, J., Bruno, J. F. & Duffy, J. E. (2007). Understanding the effects of marine biodiversity on communities and ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38, 739-766.
- Suding, K. N. (2008). Scaling environmental change through the community-level: a trait-based response-and-effect framework for plants. *Global Change Biology*, 14, 1125-1140.
- Takacs, D. (1966) *The idea of Biodiversity: philosophies of paradise*. Baltimore: The Johns Hopkins University Press.
- Wolters, V., Silver, W. L., Bignell, D. E., Coleman, D. C., Lavelle, P., Van Der Putten, W. H., ... & Brussard, L. (2000). Effects of Global Changes on Above-and Belowground Biodiversity in Terrestrial Ecosystems: Implications for Ecosystem Functioning. *AIBS Bulletin*, 50(12), 1089-1098.
- Worm, B., Barbier, E. B., Beaumont, N., Duffy, J. E., Folke, C., Halpern, B. S., ... & Sala, E. (2006). Impacts of biodiversity loss on ocean ecosystem services. *Science*, 314(5800), 787-790.

מצב ומגמות המגוון הביולוגי בישראל

שורק, מ. ופרבולוצקי, א. (עורכים). (2016). דו"ח מצב הטבע ישראל 2016. תל אביב: המארג.

- Givan, O., Edelist, D., Sonin, O., & Belmaker, J. (2018). Thermal affinity as the dominant factor changing Mediterranean fish abundances. *Global change biology*, 24(1), e80-e89.
- Y. Yom-Tov, Y. (2013). Human impact on wildlife in Israel since the 19th Century. In: D. Orenstein, A. Tal & C. Miller (eds.). *Between ruin and restoration: An environmental history of Israel*, (pp. 53-81). Pittsburgh: The University of Pittsburgh Press.

- Dayan, T. et al. (2012) *Biodiversity Research and Higher Education at the Research Universities of Israel*. The Israel Academy of Sciences and Humanities.
- Bardgett, R. D. (ed.). (2011). Chapter 13: Supporting Services. In: *UK National Ecosystem Assessment: Technical Report*. United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
- Bardgett, R. D. & Wardle, D. A. (2010). *Aboveground–belowground linkages, biotic interactions, ecosystem processes, and global change*. Oxford University Press.
- Eisenhauer, N., Reich, P. B. & Isbell, F. (2012). Decomposer diversity and identity influence plant diversity effects on ecosystem functioning. *Ecology*, 93, 2227-2240.
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2011). *Common international classification of ecosystem services (CICES): 2011 Update*. Nottingham: Report to the European Environmental Agency.
- Setälä, H. (2009). *Ecosystem services and biodiversity in Europe*. EASAC Secretariat, The Royal Society.

יצרנות ראשונית

- Abramsky, Z. & Rosenzweig, M.L. (1984). Tilman Predicted Productivity Diversity Relationship Shown by Desert Rodents. *Nature*, 309, 150-151.
- Araujo, M.B. & Guisan, A. (2006). Five (or so) challenges for species distribution modelling. *Journal of Biogeography*, 33, 1677-1688.
- Araujo, M.B. & Luoto, M. (2007) The importance of biotic interactions for modelling species distributions under climate change. *Global Ecology and Biogeography*, 16, 743-753.
- Bardgett, R.D., Streeter, T.C. & Bol R. (2003) Soil microbes compete effectively with plants for organic-nitrogen inputs to temperate grasslands. *Ecology*, 84, 1277-1287.
- Bardgett, R.D. & Wardle, D.A. (2010). *Aboveground-Belowground Linkages: Biotic Interactions, Ecosystem Processes, and Global change*. Oxford University Press
- Cottingham, K.L., Brown, B.L. & Lennon, J.T. (2001). Biodiversity may regulate the temporal variability of ecological systems. *Ecology Letters*, 4, 72-85.
- De Deyn, G.B., Cornelissen, J.H.C. & Bardgett, R.D. (2008). Plant functional traits and soil carbon sequestration in contrasting biomes. *Ecology Letters*, 11, 516-531.
- Diaz, S., Lavorel, S., de Bello, F., Quetier, F., Grigulis, K. & Robson, M. (2007). Incorporating plant functional diversity effects in ecosystem service assessments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104, 20684-20689.
- Donnison, L.M., Griffith, G.S. & Bardgett, R.D. (2000). Determinants of fungal growth and activity in botanically diverse haymeadows: effects of litter type and fertilizer additions. *Soil Biology and Biochemistry*, 32, 289-294.
- Egerton-Warburton, L.M. & Allen, E.B. (2000). Shifts in arbuscular mycorrhizal communities along an anthropogenic nitrogen deposition gradient. *Ecological Applications*, 10, 484-496.

- Elith, J., Graham, C.H., Anderson, R.P., Dudik, M., Ferrier, S., Guisan, A., Hijmans, R.J., ... & Zimmermann, N.E. (2006). Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography*, *29*, 129-151.
- Emmett, B. A. (2007). Nitrogen saturation of terrestrial ecosystems: some recent findings and their implications for our conceptual framework. In: Brimblecombe, P., Hara, H., Houle, D., & Novak, M. (Eds.). *Acid Rain-Deposition to Recovery* (pp. 99-109). Springer, Dordrecht.
- Evans, C.D., Monteith, D.T. & Cooper, D.M. (2005). Long-term increases in surface water dissolved organic carbon: Observations, possible causes and environmental impacts. *Environmental Pollution*, *137*, 55-71.
- Evans, J.P. (2009). 21st century climate change in the Middle East. *Climatic Change*, *92*, 417-432.
- Fay, P.A., Carlisle, J.D., Knapp, A.K., Blair, J.M. & Collins, S.L. (2000). Altering rainfall timing and quantity in a mesic grassland ecosystem: Design and performance of rainfall manipulation shelters. *Ecosystems*, *3*, 308-319.
- Fay, P.A., Carlisle, J.D., Knapp, A.K., Blair, J.M. & Collins, S.L. (2003). Productivity responses to altered rainfall patterns in a C-4-dominated grassland. *Oecologia*, *137*, 245-251.
- Frey, S.D., Knorr, M., Parrent, J.L. & Simpson, R.T. (2004). Chronic nitrogen enrichment affects the structure and function of the soil microbial community in temperate hardwood and pine forests. *Forest Ecology and Management*, *196*, 159-171.
- Gilman, S.E., Urban, M.C., Tewksbury, J., Gilchrist, G.W. & Holt, R.D. (2010). A framework for community interactions under climate change. *Trends in Ecology & Evolution*, *25*, 325-331.
- Golan-Angelko, A. & Bar-Or, Y. (2008) *Israeli preparation for global climate change*. In: Ministry of Environmental Protection Jerusalem.
- Golodets, C., Sternberg, M., Kigel, J., Boeken, B., Henkin, Z., Seligman, N.G., & Ungar, E.D. (2013). From desert to Mediterranean rangelands: will increasing drought and inter-annual rainfall variability affect herbaceous annual primary productivity? *Climatic Change*, *119*, 785-798.
- Goulding, K., Jarvis, S. & Whitmore, A. (2008). Optimizing nutrient management for farm systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, *363*, 667-680.
- Hector, A., Hautier, Y., Saner, P., Wacker, L., Bagchi, R., Joshi, J., Scherer-Lorenzen, M., Spehn, E.M., ... & Loreau, M. (2010). General stabilizing effects of plant diversity on grassland productivity through population asynchrony and overyielding. *Ecology*, *91*, 2213-2220.
- Hooper, D.U., Chapin, F.S., Ewel, J.J., Hector, A., Inchausti, P., Lavorel, S., Lawton, J.H., ... & Wardle, D.A. (2005). Effects of biodiversity on ecosystem functioning: A consensus of current knowledge. *Ecological Monographs*, *75*, 3-35.
- Jackson, R.B., Canadell, J., Ehleringer, J.R., Mooney, H.A., Sala, O.E. & Schulze, E.D. (1996). A global analysis of root distributions for terrestrial biomes. *Oecologia*, *108*, 389-411.
- Jiang, L. & Pu, Z.C. (2009). Different Effects of Species Diversity on Temporal Stability in Single-Trophic and Multitrophic Communities. *The American Naturalist*, *174*, 651-659.
- Kissling, W.D., Dormann, C.F., Groeneveld, J., Hickler, T., Kuhn, I., McNerny, G.J., ... & O'Hara R.B. (2012). Towards novel approaches to modelling biotic interactions in multispecies assemblages at large spatial extents. *Journal of Biogeography*, *39*, 2163-2178.

- Lehouerou, H.N., Bingham, R.L. & Skerbek, W. (1988). Relationship between the Variability of Primary Production and the Variability of Annual Precipitation in World Arid Lands. *Journal of Arid Environments*, 15, 1-18.
- Longhurst, A., Sathyendranath, S., Platt, T. & Caverhill, C. (1995). An Estimate of Global Primary Production in the Ocean from Satellite Radiometer Data. *Journal of Plankton Research*, 17, 1245-1271.
- Lovett, G., Cole, J. & Pace, M. (2006). Is net ecosystem production equal to ecosystem carbon accumulation? *Ecosystems*, 9, 152-155.
- Miranda, J.D., Armas, C., Padilla, F.M. & Pugnaire, F.I. (2011). Climatic change and rainfall patterns: Effects on semi-arid plant communities of the Iberian Southeast. *Journal of Arid Environments*, 75, 1302-1309.
- Moran, R., Harvey, I., Moss, B., Feuchtmayr, H., Hatton, K., Heyes, T. & Atkinson, D. (2010). Influence of simulated climate change and eutrophication on three-spined stickleback populations: a large scale mesocosm experiment. *Freshwater Biology*, 55, 315-325.
- Moss, B., Mckee, D., Atkinson, D., Collings, S.E., Eaton, J.W., Gill, A.B., Harvey, I., Hatton, K., Heyes T. & Wilson, D. (2003). How important is climate? Effects of warming, nutrient addition and fish on phytoplankton in shallow lake microcosms. *Journal of Applied Ecology*, 40, 782-792.
- Nippert, J.B., Knapp, A.K. & Briggs, J.M. (2006). Intra-annual rainfall variability and grassland productivity: can the past predict the future? *Plant Ecology*, 184, 65-74.
- Orwin, K. H., Buckland, S. M., Johnson, D., Turner, B. L., Smart, S., Oakley, S., & Bardgett, R. D. (2010). Linkages of plant traits to soil properties and the functioning of temperate grassland. *Journal of Ecology*, 98(5), 1074-1083.
- Running, S.W., Nemani, R.R., Heinsch, F.A., Zhao, M.S., Reeves, M. & Hashimoto, H. (2004). A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. *Bioscience*, 54, 547-560.
- Shafran-Nathan, R., Svoray T. & Perevolotsky, A. (2013). The resilience of annual vegetation primary production subjected to different climate change scenarios. *Climatic Change*, 118, 227-243.
- Suding, K.N., Lavorel, S., Chapin, F.S., Cornelissen, J.H.C., Diaz, S., ... & Navas, M.L. (2008). Scaling environmental change through the community-level: a trait-based response-and-effect framework for plants. *Global Change Biology*, 14, 1125-1140.
- Treseder, K.K. (2008). Nitrogen additions and microbial biomass: a meta-analysis of ecosystem studies. *Ecology Letters*, 11, 1111-1120.
- Zarnetske, P.L., Skelly, D.K. & Urban, M.C. (2012). Biotic Multipliers of Climate Change. *Science*, 336, 1516-1518.
- Zogg, G.P., Zak, D.R., Pregitzer, K.S. & Burton, A.J. (2000). Microbial immobilization and the retention of anthropogenic nitrate in a northern hardwood forest. *Ecology*, 81, 1858-1866.

מתזור המים

גינת, ח., בלומברג, ד., אלירז, ג. ואיזיקסון, ס. (2011). מגמות השינוי האקלימי בערבה ודרום ים המלח והשלכותיו ההידרולוגיות והאקולוגיות. מרכז מדע ים המלח והערבה, דו"ח סופי לרשות המים.

גל, ג. וגלבוט, י. (2012). תרחישים לבחינת השפעת ירידה במים הזמינים בכנרת על איכות המים והתהליכים האקולוגיים באגם, המעבדה לחקר הכנרת, חקר ימים ואגמים לישראל, T26/2012 דצמבר 2012.

- רימר, א. (2012). תרחישים לביחינת השפעת הפחתת מים זמינים בכנרת על המליחות באגם, המעבדה לחקר הכנרת-המכון לחקר ימים ואגמים, דו"ח סופי לרשות המים, T34/2012, דצמבר 2012.
- Bardgett, R. D. (ed.). (2011). Chapter 13: Supporting Services. In: *UK National Ecosystem Assessment: Technical Report*. United Nations Environment Programme World Conservation Monitoring Centre.
- Budikova, D. (2013). [Albedo](#). *Encyclopedia of Earth*. Accessed January 2019.
- Chenoweth, J., P. Hazinicolacou, A. Bruggeman, J. Lelieveld, Z. Levin et al. (2011). Impact of Climate Change on the Water Resources of the Eastern Mediterranean and Middle East Region: Modeled 21st century changes and implications. *Water Resources Research*, 47, 1-18.
- Dai, A. (2011). Drought under global warming: a review. *WIREs, Climate Change*, 2, 45-65.
- Givati, A. & Rosenfeld, D. (2007) Possible Impacts of Anthropogenic aerosols on water Resources of the Jordan River and the Sea of Galilee. *Water Resources Research*, 47, 1-15.
- Givati, A., & Rosenfeld, D. (2013). The Arctic oscillation, Climate change and the effects on precipitation in Israel. *Atmospheric Research*, 133, 114–124.
- Hoerlin, M., Eischeid, J., Perlwitz, J., Xiaowei, Q., Zhang, T., & Pegion, P. (2012). On the Increased Frequency of Mediterranean Drought. *Journal of Climate*, 25, 2146-2161.
- Hubbart, J. (2006). [Variables affecting water yield](#). *Encyclopedia of Earth*. Retrieved January 2019.
- Hubbart, J. (2011). [Hydrologic cycle](#). *Encyclopedia of Earth*. Retrieved January 2019.
- Hubbart, J. (2009). [Forest harvest and water yield](#). *Encyclopedia of Earth*. Retrieved January 2019.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Kitoh, A., Yatagai, A., & Alpert, P. (2008). First Super-high-resolution Model Projection that the ancient "fertile Crescent" will disappear in this Century. *Hydrological Research Letters*, 2, 1-4.
- Kunstmann H. et al. (2009). Regional Climate Scenario. In: *Glwa Jordan River, An Integrated Approach to sustainable Management of Water Resources under Global Change. Phase II, Final Report* (pp. 55-72).
- Krichak, S., Alpert, P. & Kunin, P. (2009). Projections of Climate Change over non-boreal East Europe during first half of twenty-first century according to results of a transient RCM Experiment. In: Groisman, P.Y. & Ivanov, S.V. (eds.), *Regional Aspects of Climate – Terrestrial Hydrologic Interactions in Non-boreal Eastern Europe* (pp. 55-63). Dordrecht: Springer
- Jin, F., Kitoh, A. & Alpert, P. (2011). Climatological relationships among the moisture budget components and rainfall amounts over the Mediterranean based on a super-high-resolution climate model. *Journal of Geophysical Research*, 116, D09102.
- Pidwirny, M. (2011). [Stemflow, canopy drip, and throughfall](#). *Encyclopedia of Earth*. Accessed January 2019.
- Pidwirny, M. (2012). [Carbon cycle](#). *Encyclopedia of Earth*. Accessed January 2019.

- Rimmer, A., Givati, A., Samuels, R., & Alpert, P. (2011). Using high resolution Climate Model to Evaluate Future Water and Solutes Budgets in the Sea of Galilee. *Journal of Hydrology*, 410, 248-259.
- Törnros, T., & Menzel, L. (2014). Addressing drought conditions under current and future climates in the Jordan River region. *Hydrology and Earth System Sciences*, 18, 305–318.
- Ziv, B. & Saaroni, H. (2011). The contribution of moisture to heat stress in a period of global warming: the case of the Mediterranean. *Climate Change*, 104(2), 305-315.

יצירה וקיום של קרקע

- אנגרט, א. ואילסר, ח. (2007). התחזית בידיים שלנו, ההתחממות הגלובלית בישראל – האפשרויות, ההשפעות וקווים למדיניות. דו"ח של אדם טבע ודין.
- בר-יוסף, ע. וגרפינקל, י. (2008). הפריהיסטוריה של ארץ ישראל – תרבות האדם לפני המצאת הכתב. הוצאת אריאל.
- ברששת, ל. (2012). שיקום קרקעות שעברו תהליכי המלחה ונתרון באמצעות שיפור איכות מי ההשקיה ויישום קומפוסט (עבודת מאסטר). רחובות: הפקולטה לחקלאות, האוניברסיטה העברית בירושלים.
- הדס, א., טור ציון, י., איזנקוט, א. וזיידנברג, ר. (2009). מניעת סחף קרקע – ניתוח עלות מול תועלת. ניר ותלם, 17-27, 13.
- זיידנברג, ר. שפירו מ. (2002) אבדן קרקע ברמת מנשה וברמת יושכר - פרסום פנימי. האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות.
- זיידנברג, ר. דן, י. זהבי, מ. (2006) מפת פוטנציאל הסחיפה בישראל - פרסום פנימי. האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות.
- זיידנברג, ר. (2007א). לראות קרקע, איתור וזיהוי תופעות דלדול קרקע. תלמים (גיליון חגיגי לרגל הקמת הרשות לשימור קרקע כינרת), 34–35.
- זיידנברג, ר. (2007ב) השפעת האדם על התפתחות קרקעות ואפשרויות ניצולן לשימוש חקלאי. הכנס ה-48 של האגודה הגאוגרפית הישראלית, 9 באר שבע.
- זיידנברג, ר. טור-ציון י. ורבהון צ. (2007ג) פיתוח חקלאות משמרת משאבי קרקע וסביבה חקלאית, תוכנית ארצית רב שנתית. פרסום פנימי, משרד החקלאות ופיתוח הכפר, אגף שימור קרקע וניקוז.
- זיידנברג, ר. (2010). היש חקלאות בת-קיימא ללא קרקע. יבול שיא, עיתון לחקלאות מתקדמת, 50, 46–50.
- זיידנברג, ר. (2013). תנועת האדמה – מבט מן השטח על מצב קרקעות ישראל. אקולוגיה וסביבה 4(1), 17–19.
- כהן, א. (2004). השימוש בצסיום-137 להערכת תפוקות ומקורות סחף באגן ניקוז צחיח למחצה, נחל רוחמה, צפון מערב הנגב. (עבודת מאסטר). המחלקה לגיאוגרפיה, האוניברסיטה העברית בירושלים.
- סבוראי, ט., וזיידנברג, ר. (2011). אבדן קרקע באגנים חקלאיים – הצעה לפתרון. אקולוגיה וסביבה, 2(2), 152–154.
- Bacon, S. N., McDonald, E., Amit, R., Enzel, Y., & Crouvi, O. (2011). Total suspended particulate matter emissions at high friction velocities from desert landforms. *Journal of Geophysical Research*, 116, F03019.
- Bar-Or, Y., & Matzner, O. (2010). *State of the Environment in Israel: Indicators, Data and Trends*. Ministry of Environmental Protection.
- Crouvi, O., Zaidenberg, R., & Shapiro, M. (2013). Soil resources of Israel. In: Yigini, Y., Panagos, P., & Montanarella, L. (eds.). *Soil Resources of Mediterranean and Caucasus Countries - Extension of the European Soil Database: Ispra, Italy*. European Commission, Joint Research Centre.
- Dan, J., Yaalon, D. H., Koyumdjisky, H., & Raz, Z. (1976) *The soils of Israel (with map 1:500,000)*. The Volcani Center, Pamphlet.

- Evenari, M., Shanan, L., and Tadmor, N. (1971). *The Negev; the challenge of a desert*, Harvard University Press.
- Gal, Y., & Hadas, E. (2013). Land allocation: Agriculture vs. urban development in Israel. *Land use policy*, 31, 498-503.
- IPCC. (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor & H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Jenny, H. (1941). *Factors of Soil Formation*, New York: McGraw-Hill.
- Katra, I., Naveh, I. C., Bar, P., & Laronne, J. (2012). *Variations in Aeolian Dust and PM10 Emission Patterns from a Semi-Arid Loess Soil*. in: Proceedings Association of American Geographers Annual Meeting, New York.
- Kirkby, M. J., Irvine, B. J., Jones, R. J. A., Govers, G., and team, T. P. (2008) The PESERA coarse scale erosion model for Europe. I – Model rationale and implementation. *European Journal of Soil Science*, 59, 1293-1306.
- Verheijen, F. G. A., Jones, R. J. A., Rickson, R. J., & Smith, C. J. (2009). Tolerable versus actual soil erosion rates in Europe. *Earth-Science Reviews*, 94, 23-38.
- Yaalon, D. H. (1997). Soil in the Mediterranean region: what makes them different? *Catena*, 28, 157-169.
- Yair, A. (1995). Short and long term effects of bioturbation on soil erosion, water resources and soil development in an arid environment. *Geomorphology*, 13(1-4), 87-99.
- Yair, A., & Klein, M. (1973). The influence of surface properties on flow and erosion processes on debris covered slopes in an arid area. *Catena*, 1, 1-18.
- Yang, D., Kanae, S., Oki, T., Koike, T., & Musiak, K. (2003). Global potential soil erosion with reference to land use and climate changes. *Hydrological processes*, 17(14), 2913-2928.

מתחזור חומרי הזנה

הלמ"ס. (2012). מאזן יסודות הזנה חנקן וזרחן לצומח בחקלאות.

- Smart, D., Carlisle, E., & Spencer, R. (2003). Carbon flow through root and microbial respiration in vineyards and adjacent oak woodland grassland communities. Report to the Kearney Foundation in Soil Science.

אספקת בית גידול

- Harrison, P. A., Berry, P. M., Simpson, G., Haslett, J. R., Blicharska, M., Bucur, M., ... & Geertsema, W. (2014). Linkages between biodiversity attributes and ecosystem services: a systematic review. *Ecosystem Services*, 9, 191-203.
- Liquete, C., Cid, N., Lanzanova, D., Grizzetti, B., & Reynaud, A. (2016). Perspectives on the link between ecosystem services and biodiversity: The assessment of the nursery function. *Ecological indicators*, 63, 249-257.

TEEB. (2015). The Economics of Ecosystems & Biodiversity: Ecosystem Services. Hosted by UNEP TEEB office, Geneva, Switzerland. Accessed May 2015.

Russel, D. J., Turnpenny, J., Jordan, A., Bond, A., & Sheate, W. (2014). *UK national ecosystem assessment follow-on. work package report 9: embedding an ecosystem services framework in appraisal: key barriers and enablers*.