

יער

כתב-עת לניהול יערות ושטחים פתוחים

גיליון מס' 18 | דצמבר 2017 | כסלו תשע"ח

עורך:
ד"ר עמרי בונה

חברי המערכת:
דוד אבלגון, ד"ר צביקה אבני, כליל אדר, דוד אשכנזי,
פרופ' מני בן חור, ד"ר דוד ברנד, ד"ר דלית גסול,
ד"ר זלמן הנקין, ד"ר ניר הר, ד"ר עמי זהבי,
פינחס כהנא, ד"ר צביקה מגדל, יצחק משה,
אברי קדמון, פרופ' יוסי ריוב, ד"ר גבי שילר,
משה שלר, חגי שניר, יוסי שרייבר

עיצוב גרפי:
ניצה ברוק, א.נ.ב. ניהול פרויקטים בע"מ

עריכה לשונית בעברית:
אלישבע מאי

עריכה לשונית באנגלית:
ד"ר אסתר לחמן

כתובת המערכת:
"יער"
קרן קימת לישראל
yaar@kkl.org.il

הוצאה לאור:
קרן קימת לישראל
מינהל פיתוח הקרקע
המדען הראשי
היחידה לפרסומים, קשרי ציבור
© כל הזכויות שמורות

לפרטים והרשמה לאירועים ביערות ובאתרי קק"ל:
קו ליער: 1-800-350-550
אתר קק"ל באינטרנט il.org.kkl.www

תמונות השער: עגורים אפורים באגמון החולה (צילום: יוסי אשכול, 2012).

תוכן

2
ברכת יו"ר קק"ל

3
בפתח הגליון

5
התבססות משאב היער בישראל:
מדיניות, מעשים ותוצאות מראשית הייעור ועד שנת 1960

21

השפעות של תמורות אקלימיות והידרולוגיות ארוכות טווח על מאפייני צומח באגן ניקוז באזור צחיח למחצה, מקרה מבחן — פארק סיירת שקד
אלי ארגמן, רפאל בארט, יצחק משה ומני בן-חור

33

השפעת הוספת אפר פחם בבור הנטיעה על ההישרדות וההתפתחות של עצי חורש מועתקים ושתילים במכלי 25 ליטר
אלי בנישו וניר הר

41

מחלת כיב ושרף האורן (Pine pitch canker)
הנגרמת על ידי הפטרייה *Fusarium circinatum*
ליאור בלנק וסטנלי פרימן

45

מה הופך מרחב ביוספרי למוצלח? תפיסות שונות מישראל ומן העולם
ליהי גולן, דניאל אורנשטיין ופנינה פלאוט

54

הרחקת ביספנול-A על ידי צמחי אגן ירוק
ערן בינימיני, רגינה בורוכוב-שרפוב, יצחק בילקיס ואלישע תל-אור

60

יעילות היערות באזור צחיח למחצה
בהפחתת זיהום אוויר (PM) במהלך סופות אבק
דפנה אוני ויצחק קטרה

69

חדשות מהשטח
69 רכיבת אופניים בשטח — גם למטרות מחקר סביבתי
יצחק קטרה ואיתי קלוג
70 מה חדש — הגן הבוטני באילנות
אילון כלב

71

עצי תפארת
71 בוקיצה שעירה (*Ulmus canescens*) ברמת מנשה
רועי הראל
74 האלה האטלנטית (*Pistacia atlantica*) בצומת העמקים (צומת ג'למה)
עמנואל קאופשטיין

75

מן הארכיון
יער בלפור בן 20
רועי הראל

77

e ירוק
אנרגיות מתחדשות — לא כל הנוצץ זהב

I

תקצירים באנגלית

ברכת היו"ר

לקוראי כתב העת "יער" שלום רב,

ב-80 השנים האחרונות היוותה פעילותה של קק"ל בעמק החולה גורם מרכזי בעיצוב הנוף הנוכחי, המאפיין בפסיפס של שטחי חקלאות, תעלות וגופי מים, שטחי אחו וחורשות. ברוח התקופה של טרום הקמת המדינה, רכשה קק"ל את זיכיון אדמות העמק מתוך כוונה לייבש את הביצות, שכיסו את מרבית השטח והביאו להתפשטות המלריה, ובכך אפשרה את הרחבת שטחי החקלאות למתיישבים החדשים.

עם הקמת המדינה, היה זה ראש הממשלה דוד בן-גוריון, שהאיץ בקק"ל לקחת על עצמה את ביצוע אחד המפעלים הלאומיים הראשונים של המדינה הצעירה — ייבוש החולה. באותו הזמן ייבוש ביצות ברחבי העולם נעשה כחלק מתפיסה של "כיבוש השממה" ורתימת משאבי הקרקע והמים לטובת הגברת הייצור החקלאי. קק"ל נרתמה בכל יכולתיה למלא אחר רצונו של בן-גוריון. ייבוש החולה, לצד מפעל הייעור והכשרות הקרקע להתיישובות, היו בעשור הראשון שלאחר קום המדינה הפעילויות העיקריות שקק"ל ביצעה. לאורך השנים, קק"ל המשיכה ללוות את המתיישבים והחקלאים. כך, כאשר נדרשה פעולה לשיקום אדמות הכבול, בראשית שנות 1990, הייתה זאת שוב קק"ל שהובילה, יחד עם משרד החקלאות ורשות מקרקעי ישראל, את המפעל שנועד בעיקרו לפתור בעיות של שימור קרקע ומים ולשפר את הממשק החקלאי. שיקום אדמות הכבול החזיר את החקלאות לפסים רווחיים והכפיל את ההכנסה הממוצעת לדונם.

במסגרת המפעל פותח גם אגמון החולה. זאת, מתוך מחשבה ליצור הזדמנות לפיתוח תיירות טבע כמקור פרנסה למתיישבים בנוסף על החקלאות. פיתוח האגמון, שאליו מגיעים למעלה מ-400,000 מבקרים בשנה, יצר תמריץ להשקעות נוספות בפיתוח תיירותי, כמו במתחם גליליון שבקרבתו, עם ערך מוסף גבוה מאוד לכלכלת התיירות של האזור, ועוד לא נאמרה המילה האחרונה בתחום זה...

קק"ל, בראשותי, רואה באגמון החולה מפעל המהווה מנוף להאצת הפיתוח של אזור הגליל העליון. המודל המשלב פיתוח חקלאי ותיירותי לטובת תושבי האזור, לצד שימור הקרקע והמים וטיפוח אקולוגי, הוא בעיניי דרך הפעולה הנכונה. בכוונתנו לפעול, יחד עם ראשי הרשויות באזור עמק החולה, לכך שאמנת הכבול אשר נחתמה בין רשויות המדינה והחקלאים ונועדה להבטיח אספקת מכסת מים במחיר מוזל להשקיה, החיונית לשמירת אדמות הכבול, לא תיפגע. כמו כן, נפעל לכך ש"פרויקט העגורים", אשר נועד למנוע מאלפי העגורים החורפים בעמק החולה ומהווים אטרקציה תיירותית מרכזית מלגרום נזק לגידולי השדה וכי הפרויקט ייהנה מתמיכה קבועה ממשרדי הממשלה הרלוונטיים, כפי שהיה בעבר וכפי שמקובל בפרויקטים דומים בחו"ל.

בימים אלה הולך ונבנה באגמון החולה מרכז המבקרים החדש של קק"ל. פרויקט זה ימצב את האגמון כאתר צפרות בינלאומי מוביל בארץ ובעולם. בסמוך למרכז המבקרים, בכוונתנו לסייע בהקמת מרכז בינלאומי לחקר נדידת הציפורים, אשר יפעל בזיקה לאוניברסיטה העברית בירושלים, מכללת תל חי ומיג"ל ויחזק את הזיהוי של האזור כמרכז צפרות עולמי.

קק"ל רואה בחיזוק הפריפריה החברתית והכלכלית ערך עליון. פעלנו, אנו פועלים ונמשיך לפעול ביתר שאת למען מטרה זאת, כי רק כך נמשיך בהגשמת החזון הציוני.

קריאה מהנה ומעניינת,

דני עטר

יו"ר קק"ל

בפתח הגיליון

לקוראים שלום,

בשנות ה-90 ביצעה קק"ל בעמק החולה, בשיתוף עם מינהל מקרקעי ישראל (כיום רמ"י) ומשרד החקלאות, את מפעל שיקום אדמות הכבול. מטרתו העיקרית של המפעל היו: (א) מניעת זרימת מי הכבול עתירי החנקות לכנרת ומניעת נזק אקולוגי חמור למימיה ולסביבה באמצעות בניית חציץ הידרולוגי לרוחב מרכז עמק החולה והפניית מי הכבול להשקיית מטעים באמצעות מפעל המים זמר; (ב) שיפור הממשק החקלאי והקטנת קצב ההתייבשות והשקיעה של אדמות הכבול באמצעות שמירת מפלס גבוה של מי התהום והשקיה בקו-נועים; (ג) שיקום אקולוגי והשבת חלק מנופי הביצה הקדומים; (ד) פיתוח תיירות טבע המתבססת על צפרות והקמת אתר אגמון החולה-קק"ל.

בחלוף 20 שנה מביצוע המפעל, ניתן לומר בסיפוק, שמרבית מטרתיו הושגו במלואן: זרימת מי הכבול לכנרת נמצאת בבקרה מלאה (גם אם השתנתה במקצת ההבנה לגבי השפעת החולה על הכנרת), הוכפלה ההכנסה מגידולי השדה באדמות הכבול וקצב התייבשותן ושקיעתן פחת במידה רבה, באגמון וסביבותיו התפתחה מערכת אקולוגית מגוונת ועשירה, וגולת הכותרת בתחום תיירות הטבע, אגמון החולה-קק"ל הפך לאתר הצפרות הראשון במעלה בישראל ובעל הכרה בינלאומית. עם זאת, ממשק אדמות הכבול בעמק החולה נותר אתגר מורכב המחייב את תחזוקת אדמות הכבול, לרבות שמירה על מפלסי מי תהום גבוהים, קצירים של הצומח בשטחי הטבע והתיירות שסביב האגמון ולחזימה במינים פולשים. פעולות התחזוקה, המלוות ומונחות על ידי מערך ניטור ומחקר, ואשר עלותן השנתית כשני מיליון ש"ח, מבוצעות על ידי קק"ל בשיתוף עם רשות המים והחקלאים.

כדי לחזק ולקבע את הממשק של אדמות הכבול בכל הקשור להקצאת מים לשטחי הכבול, נחתמה בשנת 2007, בין חקלאי עמק החולה והמדינה, "אמנת הכבול" אשר קבעה שהמדינה, באמצעות רשות המים, תקצה מדי שנה 17-22 מיליון קוב מים להשקיית גידולי השדה בשטחי הכבול (בין 600-800 קוב לדונם לכ-28,000 דונם) בהיטל הפקה של 5% מהיטל הפקה של מים עיליים לחקלאות. היה זה צעד משלים, שנועד להבטיח את שמירת הרטיבות של אדמות הכבול ברוב הזמן.

תיקון 27 א' לחוק המים אשר אושר לאחרונה ואשר מעלה בעשרות אחוזים את מחיר המים להשקיית אדמות הכבול, לכאורה בניגוד להסכמות בין המדינה לחקלאים, כפי שנקבעו באמנת הכבול, עלול להביא לצמצום גידולי השלחין ואף לנטישה של שטחי אדמות הכבול בשל חוסר כדאיות כלכלית. מצב חדש זה עלול להוריד לטמיון את השקעות המדינה וקק"ל במפעל שיקום אדמות הכבול. חובה לעשות כל מאמץ לשנותו.

אתגר נוסף עמו צריכים להתמודד בעלי העניין בניהול בר-קיימא בעמק החולה ובסביבות אגמון החולה: חקלאים, גופי תיירות, מועצות אזוריות, גופי שמירת טבע ואתר אגמון החולה-קק"ל הוא נושא הנזקים שגורמים העגורים לגידולי השדה בעמק החולה. מצד אחד, עשרות אלפי העגורים החולפים וחורפים בעמק החולה הפכו למשאב מרכזי לתיירות הצפרות, אך העלייה במספרי העגורים החורפים בעמק החולה מאלפים בודדים לפני הקמת אגמון החולה ועד ל-35,000 בשנים האחרונות, גם הגבירה את פוטנציאל הנזק שלהם לחקלאות. חייבים למצוא דרך למזער נזקים אלה. לשם כך, מתבצע מזה כ-20 שנה מיזם העגורים, אשר במסגרתו מגרשים את העגורים משדות המזרע ומוסיפים להם גרעיני תירס בשטחי האכלה שנקבעו לשם כך. המיזם, שעלותו הגיעה לשלושה מיליון ש"ח בשנה, הצליח ברמה המקצועית למנוע את נזקי העגורים, אך גיוס התקציב להפעלתו נתקל כל שנה בקשיים. החקלאים ואגמון החולה-קק"ל נושאים בעיקר הנטל ואילו משרדי הממשלה: החקלאות, הגנת הסביבה, תיירות והמשרד לפיתוח הנגב והגליל השתתפו בתקציב מיזם העגורים בצורה מזדמנת. מבלי שמשרדי הממשלה יאחדו כוחות בתמיכה קבועה במיזם חשוב זה הוא לא יהיה בר-קיימא. מן הראוי לציין, שמיזמים דומים בחו"ל מתוקצבים על ידי משרדי החקלאות והגנת הסביבה, כמו למשל, המיזם להגנה מנזקי האווזים הקנדיים המופעל בפארק Oak Hammock Marsh אשר במניטובה קנדה, עמו לאגמון החולה יש ברית פארקים תאומים.

אתגר נוסף הוא ההתמודדות עם שינויי האקלים המתבטאים בירידה בכמות המשקעים בצפון ישראל. מפלס הכנרת בירידה ואיכות המים של האגם הלאומי בסכנה. רשות המים מכינה מהלכים שונים כדי להתמודד עם מצב זה, כולל תכנית לתגבור כמות המים באגן הכנרת. אולם, בינתיים קיים מחסור קשה במים באגן הכנרת, דבר המשפיע גם על האיוון העדין בין צורכי החקלאות, התיירות, הטבע ושמירת הכנרת כמקור מים בר-קיימא.

המערכות האזוריות בגליל נסמכות על משרדי הממשלה וגם על קק"ל בכל הקשור בפיתוח מיזמים גדולים של תשתית. אולם, כאשר נדרש לבצע תחזוקה שוטפת של תשתיות אלו, ברוב המקרים, תמיכת השלטון המרכזי חסרה. לעתים, כמו במקרה של תיקון 27 לחוק המים, יש אף סתירה בין העקרונות שעמדו בבסיסה של אמנת הכבול עליה חתמו נציגי הממשלה לפני עשור, והתיקון האחרון בחוק המים. תפקידנו, אם כך, למצוא דרכים לרתום את גורמי הממשלה להשתתף באופן קבוע לא רק בפיתוח, אלא גם באחזקה של מיזמים בעלי חשיבות אזורית ולאומית, כדי שיהיו בר-קיימא.

בברכת קריאה נעימה,

עמרי בונה

המדען הראשי בקק"ל

ועורך כתב העת

התבססות משאב היער בישראל

מדיניות, מעשים ותוצאות מראשית הייעור ועד שנת 1960

אורלי רכטמן

המועצה לישראל יפה

הקדמה

ייעור ארץ ישראל, מראשיתו בסוף המאה ה-19 ועד ימינו, הוא מפעל רחב היקף שתוצריו, המשתרעים על פני שטחים נרחבים, טבעו את חותמם בנופיה הפתוחים של מדינת ישראל. לאורך תקופה זו, גופים שונים עסקו בייעור הארץ. מכלול גורמים השפיעו בנפרד ובמשולב על עיצוב מדיניות הייעור לאורך פרק זמן זה. גורמים מרכזיים בעיצוב המדיניות והשלכותיה על התוצאות בשטח, הם כל אלה שנטלו חלק

במעשה ייעור הארץ, ובכלל זה גופים ציבוריים וממשלתיים וגורמים פרטיים שונים. גורמים אלו גיבשו את תפיסתם היצרנית לאור האידאולוגיות שבהן דגלו, כפועל יוצא של תפקידם וסמכותם לפעולה במרחב. ייעור הארץ הושפע גם ממאורעות, תהליכים ומגמות שהתרחשו בה במהלך התקופה הנדונה ובהם: תהליכים מואצים לביסוס ההתיישבות היהודית בארץ ישראל, מסוף המאה ה-19 ועד סוף המחצית הראשונה של המאה ה-20, הקמת המדינה, קליטת גלי העלייה ההמונית, והמאמצים שהושקעו בבניין הארץ, הקמת תשתיות המדינה שבדרך — בשני העשורים הראשונים לקיומה — גידול האוכלוסייה ומגמות הפיתוח המואץ, המאפיינות את העשורים האחרונים. משימת ייעור הארץ משקפת הן את השימוש בייעור ככלי למימוש יעדים הכרוכים בפיתוח ההתיישבות היהודית והן את הקשר לתנאים הפיזיים הייחודיים של ארץ ישראל, מצב הצומח בה בראשית המאה ה-20 והתמורות שחלו בהיבט זה בהמשך.

מאמר זה מתמקד במעשה הייעור מראשיתו בשלהי המאה ה-19 ועד שנת 1960, אז הוקם מינהל מקרקעי ישראל ונושא ניהול קרקעות הארץ עבר מק"ל לידי המדינה. המאמר בוחן את התפתחות מדיניות הייעור ומכלול הגורמים שהשפיעו על עיצובה, תוך התייחסות להבדלים בין הגופים השונים שנטלו חלק בייעור הארץ ולתרומתם היחסית לעיצוב משאב היער של ישראל. בחינת נושא זה לאורך ציר הזמן, תוך התייחסות לכל הגורמים שפעלו בשטח, מאפשרת התחקות אחר התהוות משאב היער של ישראל והבנה מעמיקה של מאפייניו. **מילות מפתח:** ייעור, מדיניות ייעור, קרן קימת לישראל, אגף הייעור המנדטורי, אורן ירושלים.

1. ראשיתו של הייעור בישראל

הייעור בארץ ישראל החל בסוף המאה ה-19. על מצב היערות בארץ טרום תקופה זו ניתן ללמוד רבות מתיאורי נוסעים, שתרו את הארץ דאז ותיארו יערות שנשתמרו במספר ריכוזים (אילן, 1980). מידע נוסף על היערות בפרק זמן זה מצוי במפות הקרן לחקירת ארץ ישראל (*Palestine Exploration Fund – PEF*), המצביעות על ריכוזים של יערות אורנים בגליל המערבי, בצפון הרי יהודה ובכרמל, ועל ריכוזי יערות טבעיים של אלונים בשרון, בגוש אלונים בין שפרעם לנצרת ובהר התבור (פז, 1979).

בשנת 1903 חוקקו השלטונות העות'מאניים חוק יערות, שלא נאכף על ידי פקידי היער. היעדר אכיפה הותיר את יערות ארץ ישראל נתולי הגנה, נתונים לניצול בלתי מבוקר וללא דאגה להתחדשותם. מגמות גידול האוכלוסייה בעיר ובכפר העלו את הביקוש לעצים, שנכרתו לצורכי בנייה, הסקה, ציירת פחם, שריפת סיד, בניית מסילות רכבת והסקת קטרים לפני מלחמת העולם הראשונה ובמהלכה. פעולות אלו הביאו להרס כמעט מוחלט של החורש והיער בארץ ישראל. רוב היערות הטבעיים הפכו לשטחי חורש מנוונים, שאת מקומם תפסה הבתה, שהיוותה תצורת צומח שלטת באזורים נרחבים (רבינוביץ-וין, 1986).

ייעור הארץ היווה חידוש משני היבטים: האחד, כרוך בעצם נטיעת יערות בארץ ישראל, שכן עד סוף המאה ה-19 לא ניטעו בה יערות כלל; השני, קשור לנטיעת יערות על ידי יהודים. ויץ (1970) טוען, שאין בעולם דוגמה אחרת לנטיעת יערות על ידי יהודים. מציאות זו העמידה את ראשיתו של מפעל הייעור ללא עיגון בידע תיאורטי ובשיטות מתאימות לייעור בתנאים הפיזיים של ארץ ישראל, ונתון בידי חלוצים ציוניים נעדרי ניסיון במלאכת הייעור, שלא עמדו לרשותם בקיאות וידע שנצברו ממסורת יצרנית של דורות. מלאכת הייעור הייתה, אם כן, חדשה הן למקום והן לאדם, עובדה שהשפיעה רבות על תהליך ביסוס היער והייעור בארץ.

סעיף זה דן בראשית הייעור בארץ ישראל בפרק הזמן שבין סוף המאה ה-19 לראשית המאה ה-20. הדיון עוסק בבחינת הגורמים שהניעו את ניסיונות הייעור הראשונים, הן הפרטיים והן הממוסדים על ידי קק"ל, בבחינת תוצאות ניסיונות אלו ותרומתם לפיתוח היער בישראל.

ראשית הייעור בארץ — פעולה של גורמים פרטיים

פעולות ראשונות של ייעור הארץ החלו במהלך המחצית השנייה של המאה ה-19 על ידי הטמפלרים, יוצאי גרמניה, שהתיישבו בארץ ישראל בתקופה זו ופעלו בה עד שנת 1940. הטמפלרים ראו בנטיעה כלי חשוב לפיתוח כלכלי, מנוף לטיפוח אסמטי של סביבת מגוריהם, אמצעי ליצירת נופ המזכיר בחזותו את נופי מולדתם ופיתרון מקומי לבעיית המלריה. הם יערו מדרונות בסביבת מושבותיהם, טיפו צומח טבעי, נטעו אקליפטוסים באזורים ביצתיים, שתלו שדרות לאורך כבישים ועצים בגינות פרטיות. שתיים מבין הפעולות הנזכרות לעיל בוצעו בהיקף נרחב יחסית: טיפוח יערות האלונים בסמוך למושבותיהם בגליל התחתון ונטיעות של חורשות אורנים, ברושים ואיקליפטוסים ברכס הכרמל, במדרון השוכן מעל המושבה הטמפלרית בחיפה, השוכנת כיום בעיר התחתית של חיפה, למרגלות הגנים הבהאיים (אצ"מ, KKL5, 4,668; כרמל, 1973; ליפשיץ וביגר, 2000).

בסוף המאה ה-19, נטעו המתיישבים היהודים במושבות הראשונות שיחים ומשוכות צבר לשם סימון גבולות נחלותיהם, ואיקליפטוסים למטרות ייבוש ביצות, אספקת עצה וליצירת משברי רוח להגנה על שטחים חקלאיים. מומחים צרפתים, שנשלחו על ידי הברון רוטשילד, המליצו על נטיעת שני מיני איקליפטוס למטרת ייבוש הביצות: *E. tereticornis* ו-*E. rostrata* (אצ"מ, KKL5, 7,312).

ברוח המלצה זו, ניטעו כ-200,000 שתילי איקליפטוס במטרה לסייע בייבוש ובניקוז ביצות סמוך למושבה חדרה. נטיעה זו היוותה למעשה את פעולת הייעור הראשונה שבוצעה על ידי יהודים, והיא יצרה את היער הנטוע הראשון בישראל הוא יער חדרה, הקיים עד היום. חורשות איקליפטוס ניטעו גם בפתח תקווה ובמושבות השרון, יהודה והגליל (ביגר וליפשיץ, 2000). מיקום הנטיעות היה פועל יוצא של שטחי הביצות בסמוך למושבות והיקפן היה תלוי בגודל השטח שנדרש לייבוש. הנטיעות לא השיגו את יעדן העיקרי — ייבוש הביצות. בפועל, שטחן של הביצות הצטמצם רק מקץ 10-15 שנים, באמצעות חפירת תעלות ניקוז.

נטיעות הטמפלרים ותושבי המושבות היו מצומצמות בהיקפן, נשאו אופי מקומי ונעדרו מדיניות מכוונת ושיטות יצרניות מקצועיות. פעולות

אלו אמנם מהוות ציון דרך לראשיתו של מעשה הייעור בארץ ישראל, אך השפעתן על הנוף ותרומתן לביסוס משאב היער בישראל, שולית ביותר.

ראשיתו של הייעור הממוסד בישראל (1908-1917)

ייעור ממוסד בישראל התבצע לראשונה על ידי קק"ל, בראשית המאה ה-20, כחלק בלתי נפרד ממפעל יישוב הארץ. קק"ל נוסדה בשנת 1901 במעמד הקונגרס הציוני החמישי בבאזל. במשך השנים עסקה קק"ל במגוון רחב של תחומים: רכישת קרקעות, השבתתן, הכשרתן לחקלאות, שמירה על קרקעות שאינן מיושבות, אספקת מים, בניית תשתיות להתיישבות, מעורבות בתהליכי תכנון, עריכת מחקרים וסקרים, חינוך והסברה בארץ ובתפוצות ובכלל זאת גם בייעור הארץ. חלק מתחומי העיסוק הנ"ל נכללו במערך תפקידיה הרשמיים, שהוגדרו בתחילת המאה ה-20, ואילו אחרים נוספו במרוצת השנים, כפועל יוצא של נסיבות וצרכים משתנים, שהתהוו בתהליך ביסוס ההתיישבות היהודית בארץ ישראל ומאמצי הקמת המדינה ופיתוחה.

עד שנת 1903 גובשו הגופים המוסמכים לפעול בשמה ומטעמה של קק"ל, מטרותיה נוסחו ותקנונה עוצב. תפקידיה העיקריים של קק"ל היו: רכישת אדמות בארץ ישראל ובסביבותיה והקצאתן להתיישבות יהודית, שהתמקדה בפיתוח חקלאות מודרנית (שילוני, 1993). למן הקמתה ועד מלחמת העולם הראשונה התפרסה קק"ל על מגוון תחומי פעולה, גם כאלו שלא נכללו במטרותיה המוצהרות, אך הוטלו עליה על ידי ההסתדרות הציונית (שילוני 1987; 1993). במסגרת דפוס פעולה זה, החלה קק"ל לעסוק בנטיעת מטעים בהיקף מצומצם, למרות שהייעור טרם נכלל במערך תפקידיה הרשמיים.

הרצל, בראשית דרכו הציונית בסוף המאה ה-19, היה זה שהגה לראשונה את רעיון ייעור מרחביה השוממים של ארץ ישראל על ידי יהודים. בתחילה, הוא טען לצורך בבירוא יערות לשם פינוי שטחים לבנייה ולנחיצות לייעור את הערים. תפיסתו זו ביחס לייעור הארץ ניזונה מדימוי היער שהכיר באוסטריה, ארץ מולדתו, ופחות מהיכרות עם תנאיה הייחודיים של ארץ ישראל ומצב הצומח בה. רק לאחר לימוד אינטנסיבי של היבטים אלו, ובעקבות שיחות שערך בנושא עם אישים שונים, שינה את עמדתו ביחס לייעור הארץ. באוגוסט שנת 1896 רשם הרצל ביומנו: "עלינו לייסד אגודת עצים לאומית לנטיעת יערות בארץ. כל יהודי מנדב עץ אחד או כמה עצים. עשרה מליוני עצים" (אצ"מ, 3,303, KKL5). בשלב זה הגה הרצל לראשונה את רעיון הנטיעה רחבת ההיקף של הרריה הקרחים של הארץ, באמצעות איסוף תרומות. דבריו אלו ביטאו את השינוי המהותי שחל בתפיסתו ביחס לייעור הארץ ואת נכונותו לעדכן את חזונו ולהתאימו למציאות הארץ ותנאיה.

בשנת 1903 נשלחה לארץ ועדת מומחים על ידי הקונגרס הציוני השישי במטרה לבחון את שאלת הייעור. ועדה זו המליצה לרתום את משימת הייעור למטרות פיתוח ההתיישבות והחקלאות, באמצעות נטיעת עצי זית. הסיבה לבחירת הזית כמין מרכזי בנטיעות הייתה נעוצה בשיקולים כלכליים ובצורך למציאת מקור הכנסה למימון פעולות הייעור. בקונגרס הציוני השישי, שנערך באותה שנה, העלה הרצל לדיון את נושא ייעור הארץ כאחת ממכלול הפעולות המעשיות ליישוב ארץ ישראל וגאולתה משממונה. הרעיון קרם עור וגידים בשנת 1904, אז גיבשה הוועדה הארץ ישראלית הצעה להקמת מפעל "תרומות עצי זית", כחברה ציונית, שתפקידה איסוף תרומות לשם נטיעת יערות בארץ ישראל, במתכונת של מטעי עצי זית (ויץ, 1970). מטרותיו המוגדרות של מפעל הייעור בכפוף לרעיון זה היו: סיוע בשמירת החזקה על קרקעות קק"ל בארץ ישראל, מתן תעסוקה לפועלים עבריים והפקת רווח כלכלי מעצים מניבי פרי, שיתמוך במפעל הייעור ובפעולות נוספות הכרוכות ביישוב הארץ. תכנית זו ומטרותיה התקבלו בוועד הפועל, אשר החליט על הקמת אגודת "תרומות עצי זית", כחברה נפרדת בעלת תקנון והנהלה משלה. איסוף התרומות, ניהול הכספים, רכישת הקרקע וביצוע פעולות הייעור הוטלו על קק"ל, שהיוותה גוף ציוני מבצע, זמין ומתאים למימוש המשימה. מכאן ואילך היה הייעור אחד מתפקידיה הרשמיים של קק"ל.

בשנת 1928 נכתב דוח שסיכם את משימת ייעור הארץ על ידי קק"ל עד תקופה זו, ממנו ניתן ללמוד על המניע העיקרי לנטיעת יערות במתכונת של מטעים חקלאיים. בדוח צוין, שוועדת המומחים "מצאה אז לטוב לשנות מכוונתו הברורה של המושג 'ייעור הארץ' ולהכניס בו כוונות אחרות". הרעיון קיבל פנים חדשות: "לא נטיעת עצי יער, כי אם נטיעת עצי זית". בדוח נזכרת גם הסיבה המרכזית להחלטה זו. נטיעת הזיתים נועדה למלא תפקיד כפול: "כעצי יער, ישאו על ראש תפארת יערות, וכעצי פרי יעניקו מיד רווחים לבעליהם" (אצ"מ, 3,327, KKL5).

ברוח המלצה זו, ניטע במאי 1908 היער הראשון ע"ש הרצל, על אדמות קק"ל בבית ערף, שממזרח לבן שמו, במתכונת של מטעים חקלאיים. יער זה ניטע על ידי פועלים יהודים וערבים וכלל בעיקר עצי זית, מעט עצי שקד, משמש, גפנים ועצי סרק (ליפשיץ וביגר, 1994 ב').

מדיניות קק"ל בתקופה זו רתמה את הייעור להגשמת יישוב הארץ ופיתוחה. מיקום היערות החדשים שניטעו היה קשור באופן ישיר לתפרות הקרקעות שנרכשו על ידי קק"ל. המקור היחיד למימון פעולות הייעור היה כספי — "אגודת תרומות עצי זית", מכאן שהיקפי הנטיעה היו תלויים בגובה התרומות שנאספו (אצ"מ, 3,327, KKL5). דמות היערות והרכב המינים בהם היה פועל יוצא של תפיסה שתאמה את מדיניות ההסתדרות הציונית, שראתה בייעור כלי יעיל לביסוס ההתיישבות הציונית בארץ ישראל, וניאותה להשקיע כספים בפרויקטים שקידמו מטרה זו והניבו בצידם רווח כלכלי.

מסיבות אלו, לא אומצה בשלב ההוא תפיסה של ייעור בקנה מידה נרחב, הנסמכת על שיקולים אקולוגיים ויערניים או על ידע אודות תנאיה הייחודיים של ארץ ישראל, כמענה מושכל לשיפור מצב הצומח בה. כך יצא, אפוא, שהחלטת ועדת המומחים, שמטרתה הייתה לגבש המלצות מקצועיות בכל הנוגע לאופן הרצוי לייעור מרחבי הארץ, העדיפה את עמדת ההנהגה הציונית ואת יכולת המימון של המוסדות על פני שיקולים אקולוגיים ויערניים טהורים (רכטמן, 1996).

נטיעת יערות הזיתים לא הוכתרה בהצלחה עקב תכנון לקוי, בעיות ניהול קשות ובשל מלחמת העולם הראשונה, שפגעה בפעולות הייעור. סך הכול, מתוך מאות אלפי העצים שניטעו בתקופה זו, נותרו כ-20,000 פזורים (אצ"מ, KKL5, 3,336). באוקטובר 1943, במלאת 40 שנה למותו של הרצל, הרצה יוסף ויץ בפני עיתונאים וסקר את מפעל ייעור הארץ מראשיתו ועד תחילת שנות ה-40. בהרצאתו התייחס הדובר לניסיון הייעור הראשון. בהקשר זה ציין, שתום מלחמת העולם הראשונה מהווה סיום של תקופה וראשיתה של תקופה חדשה, שבה הייעור "דרש את תיקונו". לדבריו, תוצאות ניסיון זה "במובן המושג ייעור המקובל בכל העולם, היו שליליות". הוא אף הוסיף ואמר: "אחרי פעולות הייעור ב'ער הרצל' במשך 12 שנה הושגה תוצאה חיובית ברורה, שלא זו הדרך לייער את ארצנו" (אצ"מ, KKL5, 13,943). מאחר שהרווח הכלכלי שלו ציפו הפך להפסד והמאמץ לבסס את ראשיתו של היער הנטוע בארץ ישראל לא צלח, הוגדר ניסיון הייעור הממוסד הראשון בישראל ככישלון שחייב שינוי מהותי במדיניות.

2. התבססות הייעור הממוסד בארץ

מתום מלחמת העולם הראשונה ועד קום המדינה, עסקו במקביל שני גופים בייעור הארץ באורח שיטתי וממוסד: מחלקת הייעור של הממשל הבריטי וקק"ל. שני גופים אלו מילאו תפקידים שונים בתכלית במציאות המקומית וניזונו מאידיאולוגיות שונות ביחס לדמותה ולתפקידה של ארץ ישראל. בעובדה זו נעוצים שורשי של ההבדל המהותי בין תפיסותיהם השונות של שני גופים אלו בנוגע לתפקידיו ולדמותו של היער הרצוי בישראל. שוני זה בא לידי ביטוי בהבדלים במדיניות הייעור, בדפוסי הפעולה ובפריסת היערות שניטעו באזורים גיאוגרפיים שונים בארץ ישראל.

סעיף זה דן בפועלם של שני הגופים הנ"ל, עומד על ההבדלים במדיניות הייעור ומדגיש את תרומתם הייחודית לביסוס משאב היער בישראל.

ייעור הארץ על ידי הממשל הבריטי

הממשל הבריטי עסק בייעור במסגרת כלל פעולותיו לביסוס שלטונו בארץ ישראל, ביניהן, ניהול משאביה. מדיניות הייעור של הממשל ודפוסי פעולתו בתחום זה הושפעו משילוב בין מספר גורמים:

1. תפיסות אידיאולוגיות ביחס למראה נופי ארץ הקודש, היא הארץ המתוארת בתנ"ך, והשאפה להשיב עטרה ליושנה.
2. יישום מדיניות הממשל הבריטי ביחס לניהול שטחי הקולוניות שהיו כפופות לשלטונו, שהכתיבה בד בבד הן את טיפוח האזור, שמירה על משאביו הטבעיים וקידומו, והן את ניצולו למטרותיו.
3. שורשי מורשת הייעור הבריטית נעוצים במאה ה-13, אז התקיימה כריתה בלתי מבוקרת שהובילה להרס רחב היקף של יערות. מציאות זו הובילה להכרה, שניצול מעין זה של היער יגרום בסופו של תהליך לכלייתו של המשאב. כפועל יוצא מהבנה זו, התפתחה תפיסה, שדגלה בשימור היער ובהשבת נופים לקדמותם, יחד עם מתן מענה לביקוש הגובר והולך לעצה, ששילבה למעשה בין יעדים אקולוגיים וכלכליים. תפיסה זו יושמה בפועל על ידי נקיטת פעולות להגנה על משאבי הצומח באמצעים תחיקתיים, שיקום שרידי יערות קיימים ונטיעות.
4. לימוד תנאי הארץ, זיהוי בעיותיה והכרת מצב הצומח בה, הביאו למסקנה, כי דרושות פעולות אינטנסיביות ומידיות לשיקום שרידי הצומח הטבעי, בצד ייעור רחב היקף, שיתן מענה לבעיות קשות של שימור קרקע ומים ולביקוש הגובר והולך לעצה בארץ.

במסגרת מיסוד מנגנוני הממשל הבריטי בארץ הוקמה מחלקה לחקלאות, שעסקה בין שאר תפקידיה גם בייעור. עד שנת 1936, הופקד הייעור בתחום סמכותו של משרד החקלאות המנדטורי ובוצע במסגרת תקציבית מצומצמת. במהלך תקופה זו נלמדו תנאי הארץ והתחדדה ההבנה, ששיפור מהותי במצב הצומח בארץ ישראל מחייב הרחבת פעילות הייעור, תוך שימת דגש על הגדלת היקפי הנטיעה (גרין, 1970). מסקנה זו הובילה להקמת מנגנון, שהתמקד בעבודת הייעור ובגיוס מקורות כספיים נוספים למימוש הפעולות המתחייבות ממדיניות זו. בשנת 1936 הופקע הייעור מידיו של משרד החקלאות והועבר לסמכותה של מחלקה נפרדת, שיוחדה לטיפול בנושא. בשנה זו נכתב: "שטח היער לוקה מאוד בחסר, מצב היער גרוע ביותר, באזור ההר משפיע היעדר היער לרעה הן על החקלאות והן על חיי הכפריים, והארץ סובלת ביותר מסחף קרקע, בזבוז מים ומהיעדר גמור של מוצרי יער... הכרחי להתחיל ללא דיחוי במדיניות ייעור אגרסיבית" (ליפשיץ וביגר, 1994 א'). מחלקת הייעור של ממשלת המנדט התמקדה בשלושה תחומי פעולה עיקריים: הגנה על משאבי הצומח, ייעור ומחקר יערני. להלן פירוט הפעולות שבוצעו על ידה בכל אחד מתחומים אלו:

הגנה על משאבי הצומח

1. פרסום הוראות ותקנות המצווים על איסור כריתה ומטילים חובת פיקוח על הרעייה.
2. מיסוד חקיקה להגנה על משאבי הצומח והקרקע, הסדרת הטיפול בהם ואופן ניצולם, באמצעות כינון 'פקודה לעצירת חולות לשנת 1921' ו'פקודת היערות לשנת 1926'.
3. הגנה על משאבי הצומח באמצעות עריכה של רשימת מינים מוגנים, שכללה עצי פרי, חורש ושיחים.
4. מיפוי שטחי חורש ויער והכרזה על 430 שמורות יער, בשטח כולל של כ-750,000 דונם, כשטחי יער מוגנים.

5. רכישת קרקעות ראויות לייעור מידיים פרטיות והעברתן לבעלות המדינה.

ייעור

1. פיתוח משתלות וייצור צמחים לשימוש מחלקת הייעור המנדטורית ולחלוקה לגופים ציבוריים ולפרטיים (גרון, 1970; ליפשיץ וביגר, 1997).
2. ייבוא זרעים ואקלום מינים חדשים בארץ (ויץ, 1970).
3. שמירה על קרקע חקלאית ותשתיות באמצעות נטיעה לבלית חולות נודדים באזור עזה, מפרץ חיפה, עמק זבולון, עכו, אשדוד, באר שבע ועסלוג' (ליפשיץ וביגר, 1997).
4. נטיעה באזורים הרריים, בהרי נצרת, הר תבור, הר גריזים, שער הגיא, נחל קוף, אזור מנשה והכרמל. הנטיעות התמקדו בעיקר באזורי ההתיישבות הכפרית הערבית, בקרקעות בבעלות ממשלתית שלא צלחו לחקלאות (גרון, 1970; קליאוט, 1993).

מחקר יערני

1. מחקר בוטני ואקולוגי, שמטרתו הכרת תנאי ארץ ישראל ומצב הצומח בה, התאמת מינים לתנאי בתי גידול שונים ובחינת שיטות לייעור אזורי החולות וההרים.
2. עריכת סקרים גיאולוגיים ובוטניים.

סך הכול ניטעו באזורי החולות כ-12,500 דונם, שכללו צמחים מתאימים לייצוב דיונות, כידיד החולות המצוי, אשל ומיני שיטים. עצי אורן, צפצפה ואיקליפטוס ניטעו כחגורות חיץ. בחירת המינים התבססה על ידע שנצבר מחלקות ניסוי מקומיות ועל ספרות מחקרית בנושא ייצוב דיונות (ויץ, 1970; ליפשיץ וביגר, 1997). באזורי ההרים ניטעו סך הכול כ-41,000 דונם, שכללו אורן ירושלים כמין מוביל (33-70 אחוז מהשתילים), הן בשל התאמתו למטרות תפוקת עץ והן בשל היותו מין מקומי שנחל הצלחה בנטיעות ביחס למינים אחרים (ליפשיץ וביגר, 1994 ב'). בנוסף לכך, ניטעו מינים שונים של אורנים, ברושים, צפצפות, איקליפטוסים ומיני חורש טבעי (ויץ, 1970).

מדיניות מחלקת הייעור המנדטורית נותרה זהה לאורך כל תקופת פעולתה בארץ. המדיניות נסובה סביב הצורך לשפר את מצבו העגום של הצומח בארץ ישראל, כתוצאה מהרס, ניצול בלתי מבוקר והזנחה בתקופת השלטון העות'מאני. המדיניות, שהתבססה על מסורת הייעור הבריטית, דגלה בהגשמת מטרה משולבת בייעור הארץ, אקולוגית וכלכלית. המטרה האקולוגית ראתה בייעור כלי לשמירה על משאב וכמענה לעצירת חולות נודדים. המטרה הכלכלית באה למלא אחר הביקוש הגובר והולך לעץ, בצדפית ובשטחי מרעה וניצול מוצרי יער שונים. מטרות אלו היו שזורות זו בזו, מאחר שלפיתרון הבעיות האקולוגיות הייתה חשיבות כלכלית ולייעור למטרות כלכליות היו השלכות נופיות ואקולוגיות (ביגר וליפשיץ, 1994 א'; 1997).

לפעולות הייעור שבוצעו על ידי המנדט הבריטי הייתה תרומה חשובה ביותר, שפרותיה תקפים גם בימינו, כמעט מאה שלמה אחרי מיסודם. תרומה זו ניכרת בשלושה תחומים עיקריים:

1. מיפוי ורישום מקרקעי יער וזיהוי שטחים בעלי ערכיות הראויים לשימור. חלק משמורות הטבע המוכרזות בישראל כיום הן שמורות היער, שעליהן הכריזו הבריטים. שמורות יער נכללות גם בתכנית המתאר הארצית ליער ולייעור, תמ"א 22.
2. מיסוד החקיקה להגנה על משאבי הצומח בארץ ישראל. ההגנה על יערות בימינו, עודנה נסמכת על 'פקודת היערות לשנת 1926', שנחקקה על ידי הבריטים. תמ"א 22, שאושרה בנובמבר 1995, מהווה נדבך סטטוטורי משלים לחקיקה זו.
3. ביסוס ראשיתו של היער הנטוע במוקדי הפעולה של המנדט הבריטי באזורי ההר של ישראל.

אימוץ תפיסה יערנית על ידי קק"ל (1917-1948)

כישלון ניסיון הייעור הממוסד הראשון והתנאים החדשים שנוצרו עם הגידול בהיקפי רכישת הקרקעות והתרחבות ההתיישבות היהודית בארץ ישראל, הביאו לשינוי מהותי במדיניות הייעור. שינוי זה התבטא בהחלטה לעבור לייעור בהיקפים נרחבים, ובהחלפת הנטיעה של חורשות במתכונת חקלאית, בתפיסה יערנית הדוגלת בפיתוח גושי יער גדולים, המורכבים מאילנות סרק, שאינם זקוקים לטיפול אינטנסיבי במשך שנים רבות. רוב הנטיעות הראשונות של קק"ל לאחר מלחמת העולם הראשונה נעשו בהתאם לתכנית ייעור רחבה שהתוותה בשנת 1919 על ידי עקיבא אטינגר, שהיה מנהל מחלקת הקרקעות והייעור עד שנת 1928. התכנית יישמה את הרוח החדשה בתפיסת הייעור של הארץ. בשנת 1920, מיד לאחר הכנת התכנית, החלו פעולות ייעור רחבות סביב שמונה יישובים, כולם עוגנים באזורי ההתיישבות היהודית של תקופה זו: בן שמן, חולדה, באר טוביה, נחלת יהודה, קריית ענבים, מרחביה, כנרת ודגניה (אצ"מ, KKL5, 3,303). עד שנת 1925 נערכו ניסיונות רבים על מנת למצוא את שיטות הייעור המתאימות.

מיקום הנטיעות, ברוב המקרים, לא היה קשור לשיקולים אקולוגיים או יערניים, אלא למתן מענה למימוש הבעלות על הקרקעות שנרכשו ולסיוע בשמירה עליהן, למיקום היישובים היהודיים ולצורך במתן תעסוקה זמנית למתיישבים. בתקופה זו ניטעו גושי יערות בהרי יהודה, שומרון, גליל עליון, עמק זבולון, גליל תחתון, עמק הירדן, עמק יזרעאל והשפלה (תמונה 1) (אצ"מ, KKL5, 13,947). כל היערות ניטעו על קרקע זיבורית, שאינה ראויה לחקלאות, כאשר החלק הארי שלהם (97%) התבצע באזורי ההר.

רוב היערות כללו בעיקר אורנים, כאשר אורן ירושלים היה המין המוביל, אליו נלוו ברושים (בעיקר ברוש מצוי), קזוארינה, שיטות ואיקליפטוסים, שניטעו בעיקר באזורי השפלה, למטרות תפוקת עץ. למרות כישלון המטעים בתקופה הקודמת, הרעיון לא נזנח לחלוטין וגם נטיעות תקופה זו כללו חלקות של מטעים, שבהן בעיקר חרובים ולצידם תאנים, תמרים, תפוזים, לימונים, זיתים, משמשים, חבושים ותפוחים (אצ"מ, KKL5, 13,943 ב', 13,947). את שרידי המטעים הנ"ל ניתן לראות עד היום בלב גושי היערות המחטניים באזורים שונים בארץ. ניתוח הרכב המינים ביערות המחטניים מלמד על דומיננטיות גוברת והולכת של עצי אורן ירושלים. בשנת 1926 כלל מין זה כמחצית מכלל הנטיעות. החל משנת 1928 הוא היווה מעל ל-75% מהן, ולאחר שנת 1934 תפס אורן ירושלים בין 86% עד 98% מכלל השתילים שניטעו (ביגר וליפשיץ, 1994 ב'). להרכב המינים ולצפיפות העצים שרווחו בנטיעות של תקופה זו נודעה השלכה ניכרת על התפתחות היער הנטוע, מגוון המינים בו ועתידו (תמונה 2).

על מקומו החשוב של אורן ירושלים בנטיעות ועל הנימוקים לכך ניתן ללמוד מדבריו של יוסף ויץ: "בין עצי היער המצויים בארצנו והמשמשים לייעור תופס כיום האורן את המקום הראש, אם לא את המקום העיקרי, בכל פעולות הייעור של מוסדות הממשלה וקרן קימת לישראל. ואין זה מקרה בעלמא, אלא תוצאה ישירה וברורה שהושגה תוך עבודות ייעור מעשיות בתקופה האחרונה... רבים הם עצי היער, הן המצויים בארץ והן חדשים שהובאו מחוצה לה, שנתנסו על ידי המוסדות העוסקים בייעור, ועודם מתנסים ונבחנים. אבל עד היום לא נמצא עץ יער אחר, המשתווה לאורן בסגולותיו המתאימות לתנאי הקרקע והאקלים שלנו. כי גם עצי האילנים הארצישראליים נופלים ממנו, בשל צמיחתם האיטית מאוד ודלות כמות העצה שהם עתידים לספק" (יוסף ויץ, 1947).

בדוח המעבדה לייעור, שנכתב בשנת 1941, נזכרת מחלה שמתחילה להתפשט בעצים אלו. הנושא נבדק לעומק ביער משמר העמק ונמצא, שגורם המחלה המתפשטת בעצים הוא כנימת המצוקוקוס. בדוח מצוין, ש"מדובר בתופעה שאין לזלזל בחשיבותה". המלצות הדוח היו גזימת בדי האורן בגיל חמש עד שש ודילול היערות, מאחר שהעצים ביערות הצפופים מתאפיינים בקליפה דקה, הנפגעת בקלות על ידי הכנימה (אצ"מ, KKL5, 8,829).

היקפי הנטיעות עד לשנת 1928 נגזרו מכמות הכספים שעמדה לרשות אגודת "תרומות עצי זית". בתקופה זו כבר היו בבעלות קק"ל כ-200,000 דונם קרקע, 13.5% מתוכם הוגדרו קרקעות ראויות לייעור (ויץ, 1974). עם הגדלת היקפי הרכישות גדל גם ייעור הקרקעות המיועדות לכך.

למרות ההיצע הגדול של קרקעות מתאימות לייעור, שעמד לרשות קק"ל, הוגבלו היקפי הנטיעה בשנים אלו לכספי התרומות שנאספו בלבד. המדיניות החדשה, שדגלה בנטיעה נרחבת, המוכתבת מהשילוב בין היצע זה ומספר היישובים שהוקמו, עמדה בסתירה מוחלטת למגבלה כספית זו. על מנת ליישב ניגוד זה, הוחלט בשנת 1929 לפרוץ את מגבלות כספי אגודת "תרומות עצי זית", ולממן פעולות ייעור גם מתקציביה השוטפים של קק"ל (אצ"מ, KKL5, 13,947).

משנה זו ואילך משימת הייעור הייתה חלק מתקציב קק"ל. במרוצת השנים, המשאבים שהוקצו למשימת הייעור גדלו וכן גדלה חשיבותה במכלול פעולות קק"ל לפיתוח הארץ ויישובה (אצ"מ, KKL10, ישיבות דירקטוריון קק"ל 1922-1948). השילוב בין עלייה מתמדת בהיקפי רכישת הקרקעות והגדלת תקציבי הייעור יצר כר פעולה נרחב למימוש מדיניות הנטיעות על פני שטחים גדולים, שאפשר לקק"ל להרחיב באופן משמעותי את אחיזתה במשימת הייעור. באורח זה, לקראת סוף התקופה הנדונה, הפכה קק"ל למקבל ההחלטות והמממן העיקרי של ניהול, תכנון וביצוע פעולות הייעור בארץ ישראל. החלטה זו קיבלה ביטוי בשטח ועל כך ניתן ללמוד מהיקפי הנטיעה בין השנים 1921-1944 (ראו טבלה 1).

מדיניות הייעור של קק"ל בתקופה זו הושפעה מחיבור משימת הייעור למשימת יישוב הארץ על ידי יהודים. היעדים החשובים, שאפיינו את מדיניות הייעור של קק"ל בתקופה זו היו: שמירה על קרקעות בלתי מיושבות שנרכשו על ידי קק"ל, פיתוח מקורות תעסוקה בייעור למתיישבים יהודים בסמוך ליישובים החדשים שנוסדו והנבת רווח כלכלי מתפוקת העץ. מדיניות זו זכתה לתמיכת האליטה הציונית וקיבלה גושפנקא, שהתבטאה בהקצאת קרקעות ומשאבים למימושה (רכטמן, 1996).

בשלב זה עדיין לא ניתן דגש משמעותי לשיקולים אקולוגיים ונופיים. שיעור נמוך מכלל הנטיעות התמקד במטרות אלו והנטיעות נעשו בעיקר לבלימת חולות נודדים ולשימור קרקע. בשלב זה נעדרה התייחסות למצב הצומח הטבעי בארץ ישראל והצורך בפיתוח כלים לתיעודו, שיקומו ושימורו. בניגוד לניסיון הייעור הראשון, שנחל כישלון חרוץ, היערות שניטעו על פי קווי המדיניות היעדרנית החדשה נקלטו והתבססו היטב, ויצרו את התשתית למשאב היער הנטוע בישראל.

3. ייעור הארץ בעשורים הראשונים שלאחר קום המדינה (1948-1960)

מקום המדינה ועד ראשית שנות ה-60, עסקו בייעור הארץ שני גופים במקביל: קק"ל ואגף הייעור של ממשלת ישראל. הייעור בעשורים אלו היווה במידה רבה המשך ישיר לתקופת טרום הקמת המדינה. קק"ל המשיכה לרתום את הייעור ככלי למימוש יעדים לאומיים ונטעה במתכונת היעדרנית של התקופה הקודמת, בעוד שאגף הייעור הממשלתי המשיך את דרכה של מחלקת הייעור המנדטורית. סעיף זה סוקר את פועלם של שני הגופים בין השנים 1948-1960, מנתח את מדיניותם ובוחר את השלכותיה על ייעור הארץ.

השנה	השטח שיוער בדונם
תרפ"א-תרפ"ד (1921-1924)	122
תרפ"ה-תרפ"ח (1925-1928)	941
תרצ"ג-תרצ"ו (1933-1936)	3,476
תרצ"ז-ת"ש (1937-1940)	5,390
תש"א-תש"ד (1941-1944)	2,487
סך הכול	12,416

מתוך: אצ"מ, KKL5, 13,943א

טבלה 1: הנטיעות בין השנים 1941-1944

מדיניות הייעור של קק"ל: הייעור כסוכן פיתוח בביסוס המדינה החדשה

ראשיתה של תקופה זו בצל מלחמת השחרור, אשר קטעה את רוב פעולות הייעור באזורי הארץ השונים, למעט באזורי הגבול. עם שוך המלחמה, התחדשו הנטיעות בכל רחבי הארץ.

לאחר המלחמה, נוצרה מציאות חדשה שחייבה התייחסות לשאלת מעמדה של קק"ל במדינה שנוסדה. במוקד הדיונים, שנערכו בדירקטוריון קק"ל בין השנים 1948-1949, עמדו הגדרה מחודשת של מטרות קק"ל, תפקידיה ומעמדה במדינה החדשה. בספטמבר 1949 הוקמה בקק"ל ועדה מיוחדת, שתפקידה היה לגבש הצעה לכיווני פעולה עתידיים, לאור המציאות החדשה שנוצרה (אצ"מ, KKL10, 3,398). בנובמבר 1949 הציגו חברי הוועדה את מסקנותיהם בפני חברי הדירקטוריון והמליצו, שיעודה המרכזי של קק"ל במדינה החדשה יתמקד בגאולת אדמה ופיתוחה למטרות התיישבות של עולים חדשים בכפר ובעיר, בכל שטחי מדינת ישראל. חברי הוועדה הציגו, שקק"ל תתמקד בארבעה תפקידים מרכזיים: רכישת קרקעות, בעיקר אדמות נפקדים, הכשרת קרקעות להתיישבות ולחקלאות, פיתוח מקורות מים וייעור. מסקנותיהם בתחום הייעור כללו המלצה להרחיב את מפעל הייעור לכל אזורי הארץ, "בהרים, בחולות ובנגב במגמה לשמש אמצעי להכשרת העולה החדש לעבודת אדמה, להגן על צמחי התרבות מפני רוחות, להחיות את השממה ולשמור על הקרקע מפני סחף" (אצ"מ, KKL10, 3,420-3,421).

מדיניות הייעור של קק"ל בתקופה זו שימשה כלי למימוש יעדים לאומיים ונבעה, בראש ובראשונה, משיקולים הקשורים להקמתה ולביסוסה של המדינה החדשה. תפיסה זו העמידה את הייעור לשירות התעסוקה, הפוליטיקה הקרקעית והביטחון. על תפיסת הייעור כחלק בלתי נפרד מהמשימות הלאומיות לביסוס המדינה שבדרך, ניתן ללמוד גם מנאומו של ראש הממשלה, דוד בן-גוריון, במושב השני של הכנסת: "עלינו לנטוע מאה אלף רבבות עצים על שטח של חמישה מיליון דונם... עלינו לעטוף בעצים כל הרי הארץ ומדרונותיהם, כל הגבעות ואדמות הטרשים שלא יצליחו לעיבוד חקלאי... עלינו גם לנטוע מטעמי ביטחון, לאורך כל הכבישים והגבולות... לא נהיה נאמנים לאחד משני היעדים של המדינה — הפרחת השממה — אם נסתפק רק בצורכי השעה ולא נעשה בדורנו אנו מפעלים שיהיו לברכה בכל הדורות הבאים. אנו מדינת בראשית, המתקנת מעוות של דורות, גם מעוות שנעשה לעם וגם מעוות שנעשה לארץ" (ויץ, 1970).

כפועל יוצא של מדיניות זו הוגדרו ארבע מטרות מרכזיות בייעור הארץ: 1. יצירת מקור תעסוקה לרבבות העולים שנקלטו ביישובים החדשים; 2. שמירה על קרקעות המדינה; 3. ייעור למטרות ביטחוניות; 4. שיפור הנוף ("החיאת השממה" ו"השבת עטרה ליושנה"), באזורי ההתיישבות היהודית.

הייעור בשני העשורים הראשונים שלאחר קום המדינה שימש מקור תעסוקה חשוב לעולים הרבים, ביניהם פליטי השואה, שהגיעו לארץ בגלי העלייה הגדולים של שנות ה-50 וה-60. קליאוט (1993), מצביעה על קשר בין מספר העולים להיקפי הנטיעה. בין השנים 1949-1953 נקלט בארץ מספר שיא של 620,615 עולים, אז ניטעו 311,870 דונמים של יער, שטח הגדול בערך פי 20 מזה שניטע בכל התקופה שלפני קום המדינה. הייעור, שהיווה פיתרון תעסוקה לכוח העבודה העצום שנקלט בארץ, העסיק בימים כתיקונם 5,000-6,000 פועלים, אך בתקופות שיא הגיע מספר המועסקים בענף זה לעשרות אלפים (תמונה 3). על מגמת גיוס הייעור לשירות התעסוקה ניתן ללמוד גם מדבריו של יוסף ויץ בשנת 1949: "הייעור מרהיב לא רק את נכסי הלאום. נטיעת יערות הופכת לענף פרנסה" (אצ"מ, KKL5, 3,407).

תפקידה המרכזי של קק"ל מהקמתה היה רכישת קרקעות. דיוני דירקטוריון קק"ל במהלך שנת 1948 התמקדו, בין השאר, בסוגיית הפוליטיקה הקרקעית, לאור השינויים בדגם הבעלות על הקרקע שנוצרו לאחר מלחמת השחרור והקמת מדינת ישראל. במסגרת דיונים אלו

נסקרו מכלול האפשרויות החדשות לרכישת קרקעות, והתגבשה ההחלטה להפנות את מרב המשאבים ומאמצי הרכישה של קק"ל ליעדים הבאים: לקרקעות נפקדים באזורים שבהם ניתן להרחיב את גושי ההתיישבות היהודית הקיימים, לקרקעות באזורי הגבול למען חינוך התיישבות הספר ולמטרות ביסוס התיישבות חקלאית חדשה (אצ"מ, KKL10, 3,111-3,113, 3,131, 3,160). הוחלט שכל רכישה תהיה מלווה בפעילות התיישבותית מיידית על הקרקע וקק"ל תיקח חלק במימון פעולות אלו (אצ"מ, KKL10, 3,323).

יישום המדיניות הקרקעית שנזכרה לעיל העמידה את קק"ל בפני מציאות חדשה, שחיבה ניהול שטחי קרקע גדולים באופן משמעותי מהיקפי הקרקעות שהיו בבעלותה בעבר (אצ"מ, KKL10, 3,323, 3,809). רתימת הייעור למשימת ניהול מצאי קרקעות קק"ל הרחיבה את משימת הייעור בצורה משמעותית ביותר וניתבה את מלאכת הנטיעה לאזורים בעייתיים, שחייבו נקיטת אמצעים לשמירה על הקרקע. למציאות זו הייתה השלכה ישירה על היקף היערות הנטועים, מיקומם ותפוסתם.

יעד לאומי נוסף, שאותו שירת הייעור, היה הביטחון. בשירות ביטחון המדינה ניטעו חורשות ו'שדרות מגן' לאורך כבישים במטרה להסוות את תנועת כוחות הצבא ומתקניו. הדרישה לייעור ביטחוני הועלתה בשנת 1949 על ידי צה"ל, שאף הגיש לקק"ל תכנית ייעור מוגדרת למטרה זו (אצ"מ, KKL5, 18,964). עדיין ניתן לראות שרידים לנטיעות אלו בדמות שדרות איקליפטוסים לאורך כבישים בישראל. חלק ניכר משדרות אלו נעקר במהלך השנים בשל הרחבת הכבישים, פגיעת השורשים בתשתיות הכבישים ובעיות בטיחות שונות.

המדיניות היערנית של תקופה זו היוותה המשך ישיר למדיניות התקופה הקודמת. בשנים אלו ניטעו על ידי קק"ל כ-150,000 דונם יערות (קליאוט, 1993; קק"ל, 1995; גרון, 1970). לפי תכנית העשור (1950-1960), שהיתווה יוסף ויץ, הופנה עיקר המאמץ לנטיעת יערות בהרי ירושלים ובנגב (תמונה 4). בנוסף לכך, הורחבו גושי היערות הקיימים בגליל המערבי והתחתון (ויץ, 1970). גושי היערות הגדולים כללו מינים מחטניים שניטעו בצפיפות גבוהה. אורן ירושלים המשיך לשמש מין מוביל בנטיעות והגיע לכדי 78% מהשתילים. שדרות המגן והחורשות ניטעו במינים שונים של איקליפטוסים, ובאזורי החולות ניטעו בעיקר אשלים ושיטות (אצ"מ, KKL10, 4,132-4,133).

שינוי עיקרי במדיניות הייעור ביחס לתקופה שלפני קום המדינה התבטא בהגדלה משמעותית של היקפי הנטיעה וביצירת גושי יערות נרחבים, שהטיפול בהם יעיל יותר. בתום תקופה זו, כלל משאב היערות הנטועים בניהול קק"ל כ-174,000 דונם. בתקופה של 12 שנים בלבד, ניטעו כ-160,000 דונם, יותר מסך כל הנטיעות מתום מלחמת העולם הראשונה ועד אמצע שנות ה-40 של המאה ה-20. יערות אלו השפיעו על חזות נוף השטחים הפתוחים באזוריה המיושבים של ישראל. ביקורת ראשונית על הרכב היער הנטוע והדומיננטיות של אורן ירושלים נשמעה כבר בשנות ה-30 של המאה הקודמת על ידי שמעון בודנהיימר, שהיה ביולוג וזואולוג, וישראל גינדל, שהיה מהנדס יער, עבד בשירות הייעור המנדטורי ולאחר מכן במעבדה לחקר היער. בודנהיימר וגינדל ביקרו את היערות החד-מיניים והציעו נטיעת יערות מעורבים במיני חורש מקומיים, שיעצימו את שרידותם בפני התפשטות שריפות, מזיקים ומחלות (בונה, 2015). לאחר קום המדינה, עם התפתחות משאב היער הנטוע ופריסתו על פני שטחים נרחבים, החלו כבר לצוץ ניצנים של ביקורת ברמה הציבורית על פעולות הייעור של קק"ל, שהלכו וצברו תאוצה והגיעו בשנות ה-70 לכדי ויכוח ציבורי נוקב, על אודות דמותו של היער הנטוע בישראל והשפעתו על המערכות האקולוגיות ונוף השטחים הפתוחים (תמונה 5).

אגף הייעור של ממשלת ישראל כממשיך דרכו של הייעור המנדטורי

אגף הייעור של משרד החקלאות הוקם במסגרת מיסוד מנגנוני הממשל של המדינה החדשה. מחקרים בודדים עוסקים בפועלו של אגף הייעור הממשלתי, מדיניותו ותרומתו לפיתוח משאב היער בישראל.

בתחילת עבודתו, המשיך אגף הייעור הממשלתי את דרכה של מחלקת הייעור המנדטורית. המשכיות זו באה לידי ביטוי בקבלת הסמכות לניהול השטחים שהיו באחריות המחלקה הנ"ל, בהתוויית מדיניות ייעור, בהגדרת מערך תפקידים ותחומי עשייה שהיוו המשך ישיר לתפיסה היערנית הבריטית ולתחומי פעולתם. בנוסף לכך, סגל האגף כלל חלק מאנשי מחלקת הייעור המנדטורית, עובדה שהעצימה את מוטיב ההמשכיות הן בתפיסה והן בדרכי הפעולה. ד"ר עמיהוד גור, שניהל את מחלקת הייעור המנדטורית, מונה למנהל אגף הייעור הממשלתי וכסגנו מונה ברוך רביצקי, שהחל גם הוא את דרכו שם (אבני, 2004).

תפקידי אגף הייעור הממשלתי היו: ניהול שמורות היער, טיפול בשטחי חורש טבעי, נטיעת יערות בשטחי שמורות היער, אקלום עצי יער חדשים, פיתוח משתלות לצורכי ייעור של האגף ולחלוקה לציבור, מחקר יערי והגנה על משאב היער באמצעות אכיפה, פיקוח וחקיקה (אצ"מ, KKL5, 18,966).

ניהול שמורות היער נתפס על ידי אגף הייעור הממשלתי כמשימה בעלת חשיבות מכרעת וכחלק בלתי נפרד ממערך תפקידיו. בכפוף למדיניות זו, חלק ניכר מפעולות האגף התמקד בשטחים אלו. עד שנת 1944 הוכרזו על ידי מחלקת היערות המנדטורית כ-735,000 דונם שמורות יער. עם קום המדינה והשינויים שחלו בגבולותיה, הצטמצם שטח זה לכדי כ-460,000 דונמים. שמורות אלו כללו כ-10% יערות נטועים והשאר שטחי חורש טבעי, שהשתרעו בגליל בסמוך לערים עכו, צפת, נצרת וטבריה, במישור החוף ובאזור הרי ירושלים (טלאור, 1962; מחלקת הייעור של הממשלה, 1955). חלקים משטחים אלו הוכרזו בשלב מאוחר יותר כשמורות טבע וגנים לאומיים וחלק עבר לניהול קק"ל.

אגף הייעור הממשלתי עסק רבות בטיפול בשטחי חורש טבעי בתחומי שמורות היער וביצע פעולות גיזום, דילול, התקנת קווי אש ופריצת דרכים (מחלקת הייעור הממשלתי, 1955). בין השנים 1948-1960 ניטעו על ידי אגף הייעור כ-115,900 דונמים, בכלל זה נטיעות לשימור קרקע ומים באזורים הרריים, ייצוב אזורי חולות, נטיעת חורשות איקליפטוס וצפצפות למטרות תפוקת עץ ונטיעות בצידי דרכים (מחלקת הייעור הממשלתי, 1955; גרון, 1970; אבני, 2004). היערות החדשים ניטעו בגליל בסמוך לצפת, טבריה ונצרת, בכרמל ובהרי ירושלים.

שטחים נוספים ניטעו בחולות השרון על מנת להגן על קו הרכבת חדרה-תל אביב, ובהיקף מצומצם גם בדרום הארץ. הרכב היערות הנוטעים באזורי ההר כלל 70% אורנים והיתר ברושים, איקליפטוסים ומעט מיני חורש ארץ ישראלי. באזורי החולות ניטעו שיטה כחלחלה, אשלים, איקליפטוסים ושיחי לענה (מחלקת הייעור הממשלתית, 1955). תפרוסת הנטיעות החדשות חפפה את אזורי הפעולה של אגף הייעור המנדטורי, והן היוו המשך לגושי היער שניטעו על ידו בעבר. הנטיעות החדשות התמקדו בשטחים הרריים, שלא התאימו לחקלאות או למרעה, ובוצעו בתחומי שטחי שמורות יער מוכרזות, מתוקף 'פקודת היערות לשנת 1926'.

אגף הייעור הממשלתי עסק גם בפיתוח משתלות. בתקופת פעולתו הוקמו שמונה משתלות יער לאספקה עצמית ולחלוקה למוסדות ציבור ולפרטיים, חינם אין כסף (אבני, 2004). המשתלות כללו כ-35% מינים מחטניים, 30% איקליפטוסים והשאר אקציות ומיני חורש (מחלקת הייעור הממשלתית, 1955). הרכב המינים במשתלות מלמד על מדיניות יערנית הדוגלת בפיתוח משאב יער נטוע, המתבסס על יערות מחטניים וחלקות איקליפטוס למטרות תפוקת עץ. היערות הנוטעים החדשים כללו כמות מצומצמת ביותר של מיני חורש ארץ ישראלי, שלא נתפסו כחלק אינטגרלי מהיער הנטוע.

אגף הייעור הממשלתי שם דגש נכבד על הגנת משאב היער באמצעות חקיקה, פעולות פיקוח ואכיפה. הפעילות בתחום החקיקה כללה התקנת צווים ותקנות, שעדכנו והרחיבו את 'פקודת היערות לשנת 1926' והתאימו אותה לתנאים ולצרכים החדשים שנוצרו עם קום המדינה. במסגרת פעולות אלו נוספו הצווים 'אכרזה על עצים מוגנים תשט"ז-1956', המפרטים את רשימת העצים המוגנים, ו'תקנות היערות 1960'. כפועל יוצא מכך מונו פקידי יערות ועודכן נושא מתן הרישיונות וההיתרים לשימוש ביער. בימי קיומו של אגף הייעור הממשלתי ביצעו הצווים והתקנות היה כפוף לשר החקלאות, שבידיו הייתה נתונה הסמכות למנות אחראים על הפיקוח והשמירה ביערות. בתום פעולתו של האגף הועברה סמכות זו לאנשי אגף הייעור של קק"ל (ויץ, 1968).

אגף הייעור הממשלתי סבל ממספר בעיות יסוד, שהערימו קשיים על ארגונו, פעילותו ותפקודו השוטף. בעיה עיקרית נבעה מתקציב ממשלתי מצומצם, שכיסה בעיקר את הוצאות אחזקת המנגנון והגביל בצורה משמעותית את היקפי הביצוע בשטח. כתוצאה מכך, חלק נכבד מפעילות הייעור נסמכה על עבודת מובטלים, שהוקצו לאגף ממשרד העבודה. המובטלים היוו כוח אדם זול, בלתי מיומן וחסר יציבות, כאשר מספר העובדים, איכותם וזמינותם הוכתבו על ידי משרד העבודה. הסתמכות בלעדית על כוח עבודה זה יצרה מציאות, שבה היקפי העבודה ומיקומה היו תלויים בזמינות המובטלים (גרון, 1970). דפוס פעולה זה לא אפשר תכנון מסודר של עבודת הייעור והשפיע על מיקום הנטיעות, איכות העבודה, היקף הטיפוליים שהושקעו בשטחי היערות החדשים ומכאן גם על סיכויי הקליטה וההתבססות של היערות החדשים שניטעו.

סוף מעשה

פעילות אגף הייעור הממשלתי וקק"ל במקביל, יצרה כפילות, סרבול וחוסר יעילות. שני הגופים עבדו בנפרד, בהיעדר שיתוף פעולה ותיאום, כפי שהיה מצופה משתי מערכות העוסקות במשימה זהה – ייעור הארץ. בין מקבלי ההחלטות הבכירים, יוסף ויץ ועמיהוד גור, שררו יחסים של ניכור, שהאיבו על האפשרות לשיתוף פעולה בין הגופים, שהתקיים במשורה ובאורח אקראי, ברמת דרגי שטח בלבד. בניסיון לתת מענה לבעיות אלו, הוקמה בשנת 1952 'רשות הייעור בישראל', שהוסמכה לנהל תחת קורת גג אחת את ענייני הייעור במדינה ולתאם בין הגופים העוסקים במלאכה. תפקידיה הנוספים היו: ייעוד שטחים לייעור, המלצה על מינים ושיטות מתאימים לייעור באזורי הארץ השונים, הפצת ערכי הייעור בציבור ואישור תכניות ייעור של חברות ציבוריות, מוסדות חינוך ופרטיים (אצ"מ, 18,966, KKL5). כפועל, הגופים המייערים נמנעו משיתוף פעולה עם רשות הייעור ולא הגישו לה דוחות מסודרים על פעולותיהם (גרון, 1970). מקץ שנתיים, הופסקה פעולת הרשות ובכך נכשל הניסיון לניהול כולל של משאב היער בישראל באותה תקופה.

בשנת 1960 נחתמה אמנה בין ממשלת ישראל לקק"ל, שבעקבותיה נסגר אגף הייעור הממשלתי והוקם בקק"ל מינהל פיתוח קרקע, שהיה אחראי על הכשרת מקרקעי ישראל וייעורם. מינהל פיתוח הקרקע היה מחויב לערוך, אחת לשנה, תכנית לפיתוח מקרקעי ישראל וייעורם ולהעבירה לאישור הנהלת קק"ל והממשלה ולהקפיד על תיאום מלא עם שר החקלאות (האמנה בין מדינת ישראל לקק"ל, 1961). מתוקף אמנה זו, הועברו לידי קק"ל כל סמכויות אגף הייעור הממשלתי. נושא המחקר היערי הופקד בידי משרד החקלאות. כמו כן, הסמכות על ביצוע 'פקודת היערות לשנת 1926', באמצעות מינהל פיתוח הקרקע של קק"ל, הופקדה בידיו של שר החקלאות (אצ"מ, KKL10, 4,753-4,751). משנת 1960 ועד ימינו קק"ל בלבד עוסקת בייעור הארץ.

להחלטה זו נודעו מתנגדים ומקטרגים רבים, בניהם ד"ר עמיהוד גור, שהיה מנהל אגף הייעור הממשלתי. בדבריו טען, "שהעברת אגף הייעור לקק"ל היא שגויה, אבל אם הוחלט הרי שכל האגף חייב לעבור, כולל מדור המחקר". במסגרת תהליך המיזוג, הוא אף הציע עצמו לשמש כסגן מנהל אגף הייעור (אצ"מ, KKL10, 4,806). ההחלטה על ניתוק המחקר היערי מהייעור והטמעתו בסמכות משרד החקלאות הייתה פועל יוצא של מאבקי כוח אישיים וארגוניים ולא נבעה משיקולים ענייניים (אבני, 2004).

לסגירת אגף הייעור הממשלתי בשנת 1960 ובעיקר לקבלת ההחלטות שבוצעה בגין פעולה זו, נודעו השלכות בתקופה שאחרי שנת 1960, שחלק מהן עדיין רלוונטי עד ימינו, 57 שנים אחרי. אבני (2004) מונה מספר בעיות יסוד בניהול משאב היער של ישראל, שמקורן טמון בביטול אגף הייעור הממשלתי ובהיעדר תהליך הטמעת תחומי פעולתו בתוך עבודת הייעור של קק"ל:

1. **כפיפות הייעור לגוף שתפקידו המוצהר פיתוח שטחים פתוחים:** ההחלטה להפקיד את ייעור הארץ בידי מינהל פיתוח הקרקע של

קק"ל, כפיפה בתחום סמכותו של גוף זה שתי משימות שאינן דרות תמיד בכפיפה אחת: פיתוח התיישבות יהודית ושימור משאבי היער. מציאות ארגונית זו הערימה קשיים בנקודות של קונפליקט בין הצורך בפיתוח הקרקע להתיישבות לבין שמירת טבע והגנה על שטחים פתוחים, שנבעו מניהול משאב היער.

2. קיבעון בחוק לניהול יערות: קק"ל לא ראתה בנושא ההגנה על משאבי היער באמצעות חקיקה חלק אינטגרלי מתפקיד זה, בפרט לאור העובדה, שהסמכות על ביצוע 'פקודת היערות לשנת 1926' נותרה בידי שר החקלאות. כתוצאה מתפיסה זו, קק"ל לא עסקה באופן שוטף בעדכון החוק שמקורו בימי שלטון המנדט הבריטי ובהתאמתו לצרכים משתנים, שנבעו ממציאות הפיתוח המואץ במדינת ישראל, שכרסמה בשטחים הפתוחים, בצד שינויים שהתרחשו במצב הצומח ומשאב היער הנטוע. כתוצאה מכך, פעילות הייעור אחרי קום המדינה ועד שנות ה-60 נותרה מעוגנת בחוק ארכאי. חוק זה תקף עדיין בימינו, למרות שכמעט אינו רלוונטי לצרכים הקשורים לניהול משאבי הצומח של ישראל כיום ובוודאי שלא לצרכים ולמגמות העתידיות.

3. הזנחת ניהול שטחי שמורות היער: קק"ל קיבלה בירושה מאגף הייעור הממשלתי כ-460,000 דונם שטחים של שמורות יער. שמורות אלו כללו שטחים בעלי ערכיות גבוהה ופוטנציאל צמחי עשיר, הראויים להגנה ולשימור. קק"ל, שעד ראשית שנות ה-60 רתמה את משימת הייעור ככלי ליישום האידיאולוגיה הציונית בביסוס ההתיישבות היהודית בארץ ישראל, וכאמצעי למימוש יעדים לאומיים בהקמת המדינה שבדרך, התמקדה בנטיעת יערות חדשים ובטיפול בשטחי יער נטוע באזורי ההתיישבות היהודית. שמורות היער, שכללו שטחי חורש טבעי ברמות התפתחות שונות, נחשבו בראשית הדרך נטע זר ולא התפתחה תורה לטיפול בהם, לרישומם ולשימורם. לאחר קום המדינה החל אגף הייעור של קק"ל לעסוק בטיפול בשטחי חורש טבעי באזורי היערות הנטועים, אך נושא שמורות היער הוזנח כמעט כליל ולא הוכרוזו שמורות יער נוספות.

4. הפרדת המחקר היערני מהייעור: ההחלטה להותיר את המחקר היערני בתחום סמכותו של משרד החקלאות גרמה בפועל לנתק משמעותי במהלך של כשני עשורים, בין העבודה היערנית, שנותרה בידי קק"ל, לבין המחקר, שאמור לגבות את הביצוע בידע, בכלים ובשיטות זמינים ליישום בשטח.

5. היעדר ביקורת ממשלתית על הייעור: ביטול אגף הייעור הממשלתי והעברת הסמכות הבלעדית לידי קק"ל, הותירו, בעשורים הראשונים שלאחר סגירת האגף, את ייעור הארץ בידי גוף שאינו כפוף למנגנוני הממשל, אינו חייב באישורים מקדימים לפעולותיו בשטח, למעט ועדה שדנה באופן כללי בחלק מפעולות הייעור המתוכננות, ואינו חייב בדיון וחשבון שלאחר המעשה. ניהול משאבי היער של מדינה על ידי גוף לא ממשלתי, מהווה דוגמה ייחודית, המאפיינת את המציאות הישראלית. מציאות זו היא תולדה של השתלשלות אירועים היסטורית, שבה חלק מהגופים הציוניים, שעסקו בפיתוח ההתיישבות היהודית טרום הקמת המדינה ולא השתלבו במערך מנגנוני הממשל שהוקמו לאחר מכן, המשיכו למלא תפקיד משמעותי בפיתוח הארץ במסגרות לא ממשלתיות. דפוס פעולה עצמאי זה עבר שינוי משמעותי ועמוק רק בראשית שנות ה-2000.

4. סיכום

ראשיתו של הייעור בארץ ישראל ברבע האחרון של המאה ה-19. מתקופה זו ועד שנת 1960, גופים שונים, פרטיים, ציבוריים וממשלתיים, נטלו חלק במשימת ייעור הארץ. גופים אלו מילאו תפקידים שונים במציאות המקומית ופעלו בהשפעת אידיאולוגיות שונות שעיצבו את תפיסתם ביחס לתפקידו ולדמותו של היער בארץ ישראל, מיקומו הגיאוגרפי ופריסתו במרחב תחומי הפעולה היערנית ודפוסייה. ניתוח מדיניותם ופועלם של הגופים השונים, שהיו מעורבים בתהליך ייעור הארץ עד שנת 1960, מצביע על קיומם של ארבעה דפוסי מדיניות ופעולה השונים בתכלית זה מזה: פעולה אד-הוק לפיתרון בעיות מקומיות; מדיניות המתמקדת במשאב עצמו ומתבססת על ידע אודות מצבו ועל שיקולים רלוונטיים הכרוכים בניהול; מדיניות הרואה במרחב וביער שבו משאב כלכלי; מדיניות הרותמת את המשאב להגשמת יעדים בתחומים אחרים. חלק מהגורמים פעל ממניע מוביל אחד ואחרים פעלו משילוב של מספר מניעים (ראו השוואה בין מדיניות הגופים השונים, בטבלה 2).

טבלה 2: הגופים שעסקו בייעור הארץ עד שנת 1960

הגוף	סוג הגוף	שנות הפעילות	אזורי הפעולה	עיקרי המדיניות, הרעיון או המניעים	תחומי הפעולה	מינים עיקריים שניטעו
תושבי המושבות היהודיות	פרטי-חלוצי המושבות, מושבות הברון, יק"א,	1897 וראשית המאה ה-20	חדרה, מושבות יהודה, מושבות השרון, גליל עליון	— מניע עיקרי לנטיעות היה ניקוז עודפי מים וייבוש ביצות — הגנה על שדות מפני רוח — סימון גבולות נחלה	— נטיעות	— איקליפטוסים — עצי פרי — מיני תרבות לאורך כבישים ובחצרות

הגוף	סוג הגוף	שנות הפעילות	אזורי הפעולה	עיקרי המדיניות, הרעיון או המניעים	תחומי הפעולה	מינים עיקריים שניתנו
	פיק"א ופרטיים			— חורשות לאספקת עצה לצרכים מקומיים		
הטמפלרים	פרטיים	1868-1940	במושבותיהם בכרמל, בגליל התחתון, באזור יפו ובירושלים	— טיפוח אסטטי של סביבת המגורים — יצירת נוף מולדת — מלחמה במלאריה	— נטיעות	— אורן ירושלים — אורן גלעין — ברוש מצוי — איקליפטוסים
מחלקת הייעור המנדטורית	מוסדי-ממשלתי	1917-1948	בגליל (צפת, טבריה ונצרת), בכרמל ובמנשה, במחוזות ירושלים וחברון, באזורי החולות שבעזה, בחיפה, בעכו ובבאר-שבע	— הגנה על משאבי צומח — נטיעות למטרות אקולוגיות: שימור קרקע ומקורות מים — סיוע לפיתוח ההתיישבות באזורי החולות על ידי שמירה על תשתיות ושטחים חקלאיים באמצעות נטיעה בשטחי הדיונות — ניצול היער למטרות כלכליות בעיקר תפוקת עץ, וכן מרעה ומוצרי יער	— הסדרת בעלויות — רישום ומיפוי מקרקעי יער — חקיקה — אכיפה ופיקוח — פיתוח משתלות — נטיעות — טיפול בחורש טבעי — אקלום מינים חדשים — מחקר יערני וסקרים	— אורנים, אורן ירושלים מין מוביל — 70-30% מהעצים, ברושים — איקליפטוסים — לייצוב חולות: שיטים, צפצפות, אשלים וידיד החולות — מעט מיני חורש ארץ ישראלי
אגף הייעור של ממשלת ישראל	מוסדי-ממשלתי	1948-1960	המשך לאזורי הנטיעה של שירות הייעור המנדטורי: באזורים הרריים בגליל (צפת, טבריה ונצרת), בכרמל, בהרי ירושלים, באזורי החולות בשרון ובדרום הארץ	— ניהול שמורות היער (460,000 ד') — הכרזה על שמורות חדשות — טיפול בשטחי חורש טבעי — נטיעת יערות חדשים בשטחי שמורות היער — נטיעה למטרות תפוקת עץ, לייצוב חולות ולצידי דרכים — הגנה על משאב היער באמצעות חקיקה, אכיפה ופיקוח	— חקיקה — אכיפה ופיקוח — נטיעות בתחומי שמורות היער — טיפול בחורש טבעי — בתחומי השמורות — פיתוח משתלות — אקלום מינים חדשים — מחקר יערני	— מינים מחטניים, בעיקר אורנים — איקליפטוסים — צפצפות — מעט מיני חורש ארץ ישראלי
קק"ל	מוסדי-ציבורי לא ממשלתי	1904-1917	בית עריף, בן שמן	— סיוע בשמירת החזקה על קרקעות הקק"ל — מתן תעסוקה למתיישבים יהודיים — הפקת רווח כלכלי שיתמוך במפעל הייעור ויממן פעולות אחרות הקשורות ליישוב הארץ	— נטיעות — סקרים	זיתים ומעט עצי פרי נוספים, משמשים, שקדים וגפנים
		1918-1948	רוב הייעור התבצע בגליל התחתון, בעמק יזרעאל ובזבולון, בנוסף נטיעת יערות בגליל העליון, באזור נהר הירדן, בהרי יהודה, בשומרון ובשפלה	— סיוע בשמירת החזקה על קרקעות קק"ל — מתן תעסוקה למתיישבים יהודיים — הפרחת השממה — ייעור למטרות תפוקת עץ	— נטיעות — פיתוח משתלות — אקלום מינים חדשים — מחקר יערני — סקרים	מינים מחטניים, אורן ירושלים כמין מוביל, מעט אורן ברוטיה וברושים, וכן איקליפטוסים, קזוארינות ושיטות, מעט מטעים — בעיקר חרובים
		1948-1960	רוב מלאכת הייעור בהרי ירושלים ובנגב, בנוסף המשיכו לנטוע בגליל התחתון, המערבי והעליון	— הייעור ככלי שרת למימוש משימות לאומיות הכרוכות בביסוס המדינה שבדרך — נטיעות לביסוס התיישבות יהודית חדשה — מתן תעסוקה לעולים חדשים — שמירה על קרקעות מדינה — ייעור למטרות ביטחוניות — נטיעות לתפוקת עץ	— נטיעות — פיתוח משתלות — אקלום מינים חדשים — מחקר יערני — סקרים	מינים מחטניים, אורן ירושלים כמין מוביל, בליווי אורנים וברושים. איקליפטוסים, קזוארינות, אשלים ושיטות

פעולתם של הגורמים הפרטיים, הטמפלרים והמתישבים היהודים נעדרה מדיניות מכוונת וראייה כוללת והתמקדה בשיקולים מקומיים, הכרוכים בטיפול סביבת ההתיישבות ובמתן מענה לבעיות אקולוגיות אקוטיות. חלקם של גורמים אלו בפיתוח משאב היער של ישראל זניח, ותרומתם העיקרית ניכרה ברמה המקומית בלבד.

משאב היער של ישראל, בראשית שנות ה-60, היה בעיקר תוצר של מדיניות ייעור של שני גופים שפעלו במקביל: מחלקת הייעור הבריטית ואגף הייעור הממשלתי כממשיך דרכה, וקק"ל. מדיניות הייעור, שעוצבה על ידי רשויות המנדט הבריטי בין השנים 1917-1948, נסמכה על יערנות מודרנית, ששורשיה נעוצים במסורות הייעור האנגלי. המדיניות התבססה על ידע תיאורטי וניסיון ארוך שנים בעבודת הייעור, בד בבד עם מידע הנוגע למצאי הצומח בארץ ומצבו, תוך מתן פתרונות לבעיות שהציב מידע זה.

היעדים שהוגדרו נבעו משיקולים אקולוגיים ויערניים, שהתמקדו בהגנה על משאבי טבע, בהגדרת ערכיות השטחים ובזיהוי הפוטנציאל הצמחי והנופי הגלום בהם. מדיניות זו באה לידי ביטוי במיסוד החקיקה להגנה על משאב הצומח, הכרזה על שמורות יער, פעולות נטיעה למטרות של שימור אקולוגי ואספקת עצה, וטיפול חורש טבעי. מדיניות זו אומצה ויושמה גם לאחר קום המדינה, על ידי אגף הייעור הממשלתי, שהיה ממשיך דרכו של שירות הייעור המנדטורי לכל דבר ועניין.

קק"ל, לעומת שני הגופים המיערים שנזכרו לעיל, נוסדה כגוף ציוני, שבמוקד פועלו עמדה מטרת ביסוס ההתיישבות היהודית בארץ ישראל באמצעות רכישת קרקע והכשרתה למטרות התיישבות. משימת ייעור הארץ בגוף מעין זה לא היוותה יעד העומד בפני עצמו. העיסוק בייעור נבע מהאפשרויות להשתמש בו ככלי יעיל למימוש החזון הציוני ביישוב הארץ. מדיניות הייעור שעוצבה על ידי קק"ל נבעה, אפוא, בעיקר משיקולים אידיאולוגיים ורתמה את הייעור ככלי להגשמת יעדים ציוניים ולאומיים. לאור תפיסה זו, הייעור, בראשית דרכו, נרתם לפיתוח החקלאות ולניקוז הקרקע, בהמשך שימש ככלי לשמירה על קרקעות שנרכשו על ידי הגופים המיישבים, כאמצעי לסיוע בביסוס התיישבות יהודית חדשה, כמקור תעסוקה למתיישבים ולמטרות ביטחוניות. בשלב זה, יעדים כלכליים בניצול היער ומטרות אקולוגיות כייצוב חולות נודדים וטיפול בשטחי חורש טבעי, היו ברמת חשיבות משנית.

מדיניות הייעור של קק"ל עד ראשית שנות ה-60 הייתה שונה ממדיניות הייעור של מחלקת הייעור המנדטורית ואגף הייעור הממשלתי. כל אחד מהגופים תכנן את ניהול משאב היער בשטחים שבאחריותו לאור תפיסותיו ומדיניותו, בנפרד וללא שיתוף פעולה ותיאום ביניהם. קיום מדיניות ייעור כפולה והיעדר שיתוף פעולה בין הגופים, הביאו לניהול מפוצל של משאב היער בישראל באזורים גיאוגרפיים שונים, כאשר לעתים אף קודמו יעדים מנוגדים. פעולות הייעור של קק"ל התמקדו בעיקר בנטיעת יערות חדשים באזורי ההתיישבות היהודית. קק"ל עבדה במנותק מפקודת היערות לשנת 1926' וללא זיקה לשטחי שמורות היער ולהזדמנויות שהיו גלומות בניצול פקודת היערות להגנה על שטחי היערות החדשים. תוצרי הפיצול שהתקיים במחצית הראשונה של המאה ה-20 במשימת ייעור הארץ, ניכרים בתפרוסת משאב היער הנטוע והטבעי בישראל.

בשנת 1960 עמד משאב היער הנטוע בישראל על כ-352,500 דונמים. מהם כ-5% בלבד יערות שניטעו על ידי גורמים פרטיים. שאר היערות ניטעו על ידי גופים ממסדיים: כ-15% ניטעו על ידי הבריטים, 32% על ידי אגף הייעור של ממשלת ישראל וכ-48% ניטעו על ידי קק"ל. ניתוח היקף הנטיעות לאורך השנים הנדונות מלמד, כי חלקם של הגורמים הפרטיים בפיתוח משאב היער הנטוע זניח, וכי עיקר חשיבותו נמדדת ברמה המקומית. עד קום המדינה, פעילות הייעור המנדטורי הייתה משמעותית ביותר ונשאה חשיבות מכרעת, הן בביסוס משאב היער הנטוע (62% מהיערות שניטעו עד שנת 1948), הן ברישום מקרקעי יער, השתתת בסיס תחיקתי להגנה על משאבי הצומח בישראל והן בהגדרת מצאי השטחים המוגנים. עד קום המדינה נטיעות קק"ל היוו כ-28% מהיערות הנטועים בארץ, אולם בתקופה שבין קום המדינה לשנת 1960, השתנה בצורה משמעותית מאזן הביצוע בין הגופים המיערים. הגופים הפרטיים חדלו לעסוק במלאכת הייעור כמעט לחלוטין, וקק"ל, שהחלה ליער בהיקפים גדולים, הייתה אחראית לכ-56% מהנטיעות, בעוד אגף הייעור הממשלתי, שהיה ממשיך דרכה של מחלקת הייעור המנדטורית, פעל בתחומי שמורות היער והיה אחראי לכ-44% מהיקף הנטיעות.

מצאי היערות הנטועים ומיקומם ייצג את תוצאות מדיניות הייעור של הגופים השונים, הן בדמות היערות שהתהוו והן בפריסתם הגיאוגרפית במרחב. משאב היער הנטוע כלל חמישה סוגי יערות: יערות מחטניים באזורים הרריים, חורשות אקליפטוס בדרום ובשטחים נגישים, מטעים באזורים הרריים, ייעור החולות, מאות קילומטרים של שדרות לאורך כבישים ומשברי רוח בשטחים חקלאיים.

היערות המחטניים שניטעו על ידי קק"ל היו חד-מיניים והתאפיינו בצפיפות גבוהה מאוד, שנעה בין 300-400 עצים לדונם. המין השליט ביערות אלו היה אורן ירושלים, שהגיע ביערות מסוימים לשיעור של מעל ל-90% מהנטיעות. היערות המחטניים, שניטעו על ידי הבריטים ואגף הייעור הממשלתי, התאפיינו בצפיפות נמוכה יותר, אך גם בהם אורן ירושלים היווה מין שליט, אם כי חלקו בנטיעות היה מצומצם יותר ביחס לזה שביערות שניטעו על ידי קק"ל.

הנטיעה להשגת יעדים לאומיים, שאינם קשורים ישירות לייעור, הניבה מצאי יערות הממוקם ברוב חלקי הארץ באזורי ההתיישבות היהודית ובסמיכות למעברות העולים ולצירי תחבורה. מצאי זה, על אף שלא תוכנן במיוחד להשגת יעדים יערניים, שינה את דמות הנוף הפתוח בחלקיה המיושבים של הארץ.

בשנת 1960 עמד משאב היער הנטוע בישראל על כ-352,500 דונמים. יער זה מהווה כ-36% מכלל היערות שניטעו בישראל עד ימינו

וכ-59% מהיערות הנטועים הנכללים בתמ"א 22. היערות שניטעו עד לתקופה זו היוו עתודה חשובה של שטח ירוק פתוח ותשתית קרקעית חשובה לשימושים העתידיים שנבעו מקיומו, החשובים שבהם הם: השמירה על שטחים פתוחים בישראל ופיתוח תשתית של תיירות ונופש בחיק הטבע לטובת כלל הציבור בישראל.
בראשית שנות ה-60 קיבלה קק"ל מנדט מהממשלה להיות הגוף המייער היחידי של מדינת ישראל וב'כובע' זה היא מתפקדת עד ימינו.

מקורות

אילן, ש. (1980). יערות ישראל לאן? עם ואדמתו, 43: 8-10.
אבני, צ. (2004). הייעור הממשלתי במדינת ישראל — אפילו. יער, 6-5: 3-11.
בונה, ע. (2015). השינויים בממשק היער הנטוע באזור הים תיכוני בישראל: מיער חד-מיני וחד-גילי ליער מעורב רב-גילי, חלק א: סקירת התפתחות מדיניות הייעור וממשק היער בישראל במאה השנים האחרונות. יער, 14: 5-14.
גרון, מ. (1970). שינוי פני היער בארץ ישראל מראשית ההתיישבות היהודית החדשה ועד היום. ירושלים: עבודת גמר לקראת התואר מ.א. בגיאוגרפיה, האוניברסיטה העברית.
האמנה בין מדינת ישראל לקרן קימת לישראל, תשכ"ב, 1961.
ויץ, י. (1974). תלמים אחרונים. ירושלים: הוצאת אגף ההסברה של קרן קימת לישראל.
ויץ, י. (1970). היער והייעור בישראל. ירושלים: הוצאת מסדה בע"מ, 622 עמ'.
ויץ, י. (1968). חקיקה על הגנת עץ היער. ליערן, 8: 4.
ויץ, י. (1960). בנתיבי, לישובה של הארץ. ירושלים: הוצאת ניר, 441 עמ'.
ויץ, י. (1947). התנהלותו בתקופת הסער: ניסן תרצ"ו-ניסן תש"ז. ירושלים: הוצאת ספריית הפועלים.
טלאור, מ. (1962). עקרונות חוק היערות לאור שינויים הכרחיים. ליערן, 12, (2), 65-2.
כרמל, א. (1973). ההתיישבות הגרמנית בארץ ישראל בשלהי התקופה העות'מאנית. ירושלים: החברה המזרחית הישראלית והאוניברסיטה העברית.
ליפשיץ, נ. וביגר, ג. (2000). נלבישך שלמת ירק — הייעור בארץ ישראל מאה שנים ראשונות: 1850-1950. ירושלים: קרן קימת לישראל והוצאת ספרים אריאל.
ליפשיץ, נ. וביגר, ג. (1997). קיבוע חולות נודדים בעזרת צמחייה בארץ ישראל בתקופת השלטון הבריטי. אופקים בגיאוגרפיה, 47-46, 21-38.
ליפשיץ, נ. וביגר, ג. (1994 א). מדיניות הייעור של הממשל הבריטי בארץ ישראל. אופקים בגיאוגרפיה, 41-40, 5-16.
ליפשיץ, נ. וביגר, ג. (1994 ב). עלייתו ונפילתו של אורן ירושלים (*pinus halepensis*) כעץ ייעור ראשי בארץ ישראל. ירושלים: הוצאת אגף ההסברה של קרן קימת לישראל.
מחלקת הייעור של הממשלה. (1955). סקירות על התפתחות היער בתקופת העשור של קיום "אגודת היער". היער, קובץ לבעיות היער. ירושלים.
פז, ע. (1979). הצומח הטבעי של ארץ ישראל בשלהי התקופה העות'מאנית. טבע וארץ. 49-52.
פקודת היערות לשנת 1926. פקודת היערות הא"י, צו היערות תשט"ז 1965, תקנות היערות, צו המקומות השמורים ליער, הודפס בשנית בפברואר 1994.
קליאוט, נ. (1993). אידיאולוגיה וייעור בישראל — יער מעשה אדם באמצעות קרן קימת לישראל. מחקרים בגיאוגרפיה של ארץ ישראל, י"ג, 87-106.
קרן קימת לישראל — מינהל פיתוח הקרקע, משרד הפנים — מינהל התכנון, מינהל מקרקעי ישראל — אגף תכנון ופיתוח (1995). ב. תכנית מתאר ארצית ליער ולייעור תמ"א 22.
קרן קימת לישראל. (1999). תמ"א 22 — מסמך מדיניות. ערך: מוטי קפלן.
רבינוביץ-וין, א. (1986). סלע-קרקע-צומח בגליל. הוצאת רשות שמורות הטבע והקיבוץ המאוחד.
רכטמן, א. (1996). התערבות מוסדית בהתהוותו של הנוף בישראל: תפקידה של קרן קימת לישראל. חיפה: חיבור על מחקר לשם מילוי חלקי של הדרישות לקבלת התואר מגיסטר למדעים, טכניון, מכון טכנולוגי לישראל.
שילוני, צ. (1993). קרן קימת לישראל וההתיישבות הציונית 1903-1914. ירושלים.
שילוני, צ. (1987). קק"ל כגורם בעיצוב הנוף היישובי של ארץ ישראל 1917-1904. חיבור לשם קבלת תואר דוקטור לפילוסופיה, האוניברסיטה העברית, ירושלים.

מקורות ראשוניים

מסמכים מארכיון קרן קימת שבארכיון הציוני המרכזי (אצ"מ), חטיבה KKL10, דוחות ישיבות דירקטוריון קרן קימת בין השנים 1920-1960:
אצ"מ, KKL10, 3,113-3,111, דיון מיום 7.7.48, מעמד קק"ל במדינת ישראל.
אצ"מ, KKL10, 3,131, דיון מיום 16.8.48, עיבוד אדמות נטושות.
אצ"מ, KKL10, 3,160, דיון מיום 16.11.48, תכנית לרכישת קרקעות מהמדינה.
אצ"מ, KKL10, 3,323, דיון מיום 14.6.49, דוח על רכישת מיליון הדונם הראשון מהממשלה.
אצ"מ, KKL10, 3,336-3,333, דיון מיום 14.6.49, רכישת קרקעות יערות המדינה.
אצ"מ, KKL10, 3,398, דיון מיום 27.9.49, בעיות עתידה של קק"ל.
אצ"מ, KKL10, 3,421-3,420, דיון מיום 22.11.49, תפקידה של קק"ל ועתידה.
אצ"מ, KKL10, 4,133-4,132, דיון מיום 21.10.52, דיון באופי הנטיעות במסגרת הצעת תקציב הייעור לשנת 1953.
אצ"מ, KKL10, 4,753-4,751, כתב האמנה בין קק"ל לממשלת ישראל.
אצ"מ, KKL10, 4,806, ישיבת דירקטוריון קק"ל מיום 11.8.1959.
אצ"מ, KKL5, 3,327, דוח בנושא עבודות הייעור משנת 1928.
אצ"מ, KKL5, 3,336, 3,303, 3,407, 13,947, חומר ספרותי על ייעור.
אצ"מ, KKL5, 4,668, יוסף ויץ, "פרובלימות הייעור בארץ ישראל", דוח מתאריך 23.11.30.
אצ"מ, KKL5, 7,312, יוסף ויץ, מכתב מתאריך 15.11.34.
אצ"מ, KKL5, 8,829, חומר ספרותי על ייעור.

אצ"מ, KKL5, 13,943, א, יוסף ויץ, חוברת מתאריך י"ג תמוז, תש"ד, 1944.
אצ"מ, KKL5, 13,943, ב, "לבעיית יערות האורן ירושלים", מסמך מודפס מתאריך לא ידוע.
אצ"מ, KKL5, 18,964, זיכרון דברים, דצמבר 1949.
אצ"מ, KKL5, 18,966, "רשות הייעור בישראל", הצעה להקמת רשות ייעור בישראל, 1950.

השפעות של תמורות אקלימיות והידרולוגיות ארוכות טווח על מאפייני צומח באגן ניקוז באזור צחיח למחצה, מקרה מבחן — פארק סיירת שקד

אלי ארגמן¹, רפאל בארט², יצחק משה³, מני בן-חור⁴

¹ התחנה לחקר הסחף, האגף לשימור קרקע וניקוז, משרד החקלאות ופיתוח הכפר
University of Applied Forest Sciences, Rottenburg am Neckar, Germany ²

³ מחלקת יער ושימור קרקע, מרחב דרום, קק"ל

⁴ המכון למדעי הקרקע המים וסביבה, מרכז וולקני

eliar@moag.gov.il

המאמר מוקדש לזכרו של אפרים פיזיק ז"ל שליווה את הפרויקט לכל אורכו.

תקציר

מודלים אקלימיים חוזים עלייה בטמפרטורה הממוצעת וירידה בכמות המשקעים באזורים צחיחים וצחיחים למחצה, המחריפים את הפגיעה במערכות האקולוגיות באזורים אלה. המאמר הנוכחי מסכם מחקר ארוך טווח, שבחן את השפעת השינויים במאפייני הגשם, הנגר העילי ובגורמי אקלים אחרים על פעילות הצומח העונתי והרב-שנתי באגן ניקוז בלתי מופר מסדר ראשון (ערוץ ראשוני בראש נחל) בתחומי פארק סיירת שקד, הסמוך לאופקים. אזור המחקר היה מבודד מהשפעת האדם על ידי תיחומו בגדר. המידע שנאסף כלל חישובים של ערכי Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), המהווים מדד למצב הצומח, משנת 2000 ועד 2013, כמויות גשם שנתיות משנת 1991 ועד 2013, ערכי אידוי-דיוט פוטנציאליים (ET_0), שחושבו מנתונים אקלימיים שנאספו מתחנות מטאורולוגיות באזור משנת 1994 ועד 2013 ומדידות נגר עילי, שנמדדו מחלקות נגר בגודל של 15×4 מ"ר לחלקה משנת 1991 ועד 2011. התפתחות הצומח העונתי בשנה נתונה הושפעה בעיקר מכמות הגשם באותה שנה, שסיפקה לו את מרבית המים במהלך גדילתו, ופחות מכמויות הגשם השנתיות בשנים קודמות. לעלייה ממוצעת שנתית של 0.01 מ"מ בערכי ET_0 עם השנים הייתה השפעה שולית על התפתחות צומח זה. לעומת זאת, הצומח הרב-שנתי, מלבד רגישותו לכמות הגשם השנתית, הושפע באופן משמעותי גם מהרציפות בשנות הבצורת ומפחיתה בכמויות הנגר העילי בשנים אלה, המהוות מקור מים עבורו.

מילות מפתח: יחסי גשם-נגר; NDVI; אקלים; צומח עונתי; קרקע; פארק סיירת שקד.

מבוא

בעשורים האחרונים קיימת מגמת התחממות גלובלית (IPCC, 2007), אשר באה לידי ביטוי בתנודות משמעותיות של טמפרטורה וגשם, במיוחד באזורים רגישים, כגון אגן הים התיכון (Smiatek, Kunstmann, & Heckl, 2011). המודלים האקלימיים המותאמים לאגן זה חוזים עלייה בטמפרטורה, ירידה בכמות המשקעים, עלייה בעוצמות הגשם והתארכות משך הזמן בין סופות הגשם. סמיאטק ואחרים וגם זיו ואחרים (Smiatek, Kunstmann, & Heckl, 2011; Ziv, Saaroni, Pargament et al., 2013) הבחינו במגמת ירידה בכמות המשקעים בישראל, שהייתה מובהקת בנגב הצפוני, ובמגמת ירידה לא מובהקת באורך העונה הגשומה, גורמים שהסיטו את קו הצחיחות צפונה החל מאמצע שנות ה-90 של המאה הקודמת. אזורים צחיחים וצחיחים למחצה משתרעים על פני למעלה מרבע השטח היבשתי של כדור הארץ, בהם מתגוררים יותר מ-18% מאוכלוסיית העולם (UNCCD, 2011). אזורים אלה מתאפיינים בתנאי אקלים קיצוניים, כגון מיעוט משקעים והתאדות פוטנציאלית גבוהה (FAO, 2015). רוב הקרקעות באזורים אלה הן בעלות אופקים רדודים, דלות בחומר אורגני ובמינרים (nutrients), מכילות ריכוזים גבוהים

יחסית של מלחים ורגישות לתהליכי סחף, רוח ומים. הצומח הנפוץ באזורים אלה דליל וכולל צומח עשבוני, שיחים וצומח מעוצה (FAO, 1991). בעשורים האחרונים נצפו באזורים הצחיחים והצחיחים למחצה תהליכים אינטנסיביים של הידלדלות קרקע כתוצאה מעלייה ניכרת בלחץ הסביבתי, הנובע בעיקר מפעילות האדם, כגון חקלאות אינטנסיבית, רעיה וכדומה (Lal, 2004). גולודץ ואחרים (Golodets, Sternberg, 2013) בחנו את השפעת השינויים בכמות המשקעים ואת העלייה בעוצמת הגשם באזורים צחיחים עד לחים בישראל. ממצאיהם הראו, שירידה בכמות המשקעים יחד עם עלייה במשך הזמן בין פרקי הגשם השפיעו באופן מובהק על פוטנציאל היצרנות הראשונית של הקרקע בתא שטח נתון; ירידה של 20% בכמות המשקעים הובילה לירידה של כ-40% בפוטנציאל היצרנות הראשונית באזורים צחיחים ובין 16% ל-34% באזורים צחיחים למחצה. ויסנטה-סרנו ואחרים (Vicente-Serrano, Zouber, Lasanta et al., 2012) הראו, כי ערכי אידוי-דיות — E_T (evapotranspiration) עלו באזורים צחיחים למחצה בספרד, במקביל לירידה בכיסוי הצומח ובעליית טמפרטורת האוויר, דהיינו עלייה בצחיחות של האזור. חוקרים אלה ציינו, שלא נצפתה ירידה בכמות המשקעים השנתית במהלך תקופת המחקר, כך שהעלייה בצחיחות של אזור המחקר נבעה משינויים בערכי ה- E_T , אשר היו גורם משמעותי בירידה בצפיפות הצומח.

מחקרים רבים מצאו, כי ערכי ה- $NDVI$ (Normalized Difference Vegetation Index) מהווים מדד טוב למצב הצומח, ויכולים לשמש כאמצעי יעיל ומהימן לזיהוי שינויים בפעילות הצמחים בתנאים שונים (Vicente-Serrano, 2006; Nicholson, Davenport, & Malo, 1990; Nicholson Davenport, & Malo et al., 2014; Jacquín, Sheeren, & Lacombe, 2010; Helman, Mussery, Lensky et al., 2014). במספר מחקרים (Malo and Nicholson, 1990; al., 1990) נמצא קשר מובהק בין ערכי ה- $NDVI$ לכמות הגשם השנתית באזור הסהל באפריקה. לעומת זאת, בעבודות אחרות (Malo and Nicholson, 1990; Nicholson, Davenport, & Malo et al., 1990) נמצא, כי קיים קשר חלש בין מצב הצומח לבין כמות הגשם השנתית באזורים לחים.

בשטחים פתוחים, באזורים לא מופרים בצפון הנגב, נפוץ מבנה דו-כתמי של תבניות צומח טבעי – כתמי צומח בין שטחים עם קרקע בעלת קרומים פיזיקליים (Ben-Hur, 2008) וביולוגיים (Boeken, 2014). כתמי הצומח, האופייניים בצפון הנגב, מורכבים מקבוצות של צומח מעוצה רב-שנתי ועשבוני עונתי. לעומת זאת, הקרומים הביולוגיים מורכבים מאזוב, טחבים וחזיות (Zaady, Groffman & Shachak, 1996), והקרומים הפיזיקליים בנויים משכבת קרקע דקה (< 2 מ"מ), צפופה ובעלת מוליכות הידראולית נמוכה מאוד, שנוצרת כתוצאה מהרס התלכידים על ידי מכות טיפות הגשם (Ben-Hur, 2008). קרומים אלה פוגעים בערכי החידור של הקרקע, ומעלים באופן ניכר את פוטנציאל הנגר והסחף. בעבודתם של שחק ואחרים (Shachak, Sachs, & Moshe, 1998) נמצא, שנוכחות קרומים ביולוגיים על פני מדרונות מאיצה את התנועה האופקית של מי נגר, סחף קרקעי (אורגני ומינרלי) ומזינים. בניגוד לכך, כתמי שיחים קוטעים את המדרון ומהווים אזורי מבלע לנגר ולסחף, ומכאן גם למזינים חיוניים לצומח המקומי. בוקן ושחק (Boeken & Shachak, 1998) הגדירו את התהליך הזה כתהליך של מקור-מבלע, שבו כתמים של קרומי קרקע ביולוגיים מהווים מקור לנגר, סחף ומזינים, וכתמי צומח רב-שנתי מהווים מבלע לחומרים אלה. עם זאת, נמצא, כי ירידה בכמות הצומח הרב-שנתי מעלה באופן מובהק את זליגת הנגר, הסחף והמזינים מחוץ למערכת האקולוגית המקומית, מכיוון שהצומח הרב-שנתי המתמעט אינו מסוגל לקלוט את כל העודפים הזורמים עם הנגר. לכן, מערכת אקולוגית נדרשת ליחס מתאים בין כתמים של קרומי קרקע ביולוגיים וכתמי צומח רב-שנתי לצורך תפקוד של המערכת לאורך המדרון (Shachak, Sachs, & Moshe, 1998). חלק ניכר מהמחקרים, שבוצעו בצפון הנגב, עסקו בהיבטים אקולוגיים, בכמות משקעים, בנגר, במאפייני קרקע שונים ובדינמיות של שינויים במצב ובהרכב הצומח וביחסי הגומלין ביניהם (Boeken, 2014). מחקרים אלה בחנו באופן חלקי, אם בכלל, את ההשפעה ארוכת הטווח של פוטנציאל המים וההתאדות האקטואלית והפוטנציאלית על הצומח. העבודה הנוכחית בוחנת את ההשפעה ארוכת הטווח של שינוי משטר הגשמים, הנגר ומאפיינים אקלימיים נוספים על פעילות הצומח הטבעי באזור המעבר בין אקלים צחיח לצחיח למחצה בצפון הנגב.

חומרים ושיטות

המחקר התבצע בתחומי פארק סיירת שקד (איור 1) הממוקם בצפון הנגב ($31^{\circ}17'N$; $34^{\circ}37'E$). באזור המעבר בין אקלים צחיח לצחיח למחצה נמצא בגובה של ~ 190 מ' מעל פני הים. השיפועים הממוצעים באגן נעים בין 4 ל-7 מעלות במדרונות ובין 11 ל-19 מעלות לאורך ערוץ הנחל. בשנת 1991, כ-370 דונם מהפארק נתחמו בגדר, ונסגרה אליהם הגישה לרעיה ולנוכחות אדם, כדי למנוע הפרה של המערכת האקולוגית וההידרולוגית באתר הניסוי. אתר זה משמש משנת 1991 כתחנת ניטור אקולוגי ארוך טווח של קרן קימת. האתר כולל אגן היקוות קטן בצורת אליפסה, המנוקז על ידי נחל מסדר ראשון. טיפוס הקרקע באגן הם: לס רדוד עם מרקם שנע בין סיין חולי לחול סייני על גבי סלעי קרטון במדרונות, ומשקעים אלוביאליים לאורך ערוץ הנחל. האגן כולל מגוון צומח הנפוץ באזורים ערביים, כאשר טיפוס הצומח העיקריים הם חרשף (*Atractylis serratuloides*), נואית קוצנית (*Noaea mucronata*) ומתנן שעיר (*Thymelaea hirsuata*). מדרונות האגן כוללים כתמי צומח מעוצה רב-שנתי (שיחים בעיקר), כאשר השטח בין כתמי הצומח המעוצה, המהווה כ-70% מכלל השטח, מכוסים בקרומי קרקע ביולוגיים ופיזיקליים, שבחלקם גדל בחורף צומח עשבוני חד-שנתי. לעומת זאת, הצומח לאורך אפיק הנחל באגן הוא רב-שנתי ברובו (Boeken, 2014).

בשנת 1991 הוקמו חלקות נגר במרחק של כ-800 מ' מאגן ההיקוות (איור 1), כאשר פני הקרקע והצומח הטבעי בארבע חלקות נגר לא הופרו במשך כל תקופת המחקר, ואליהם מתייחסת העבודה הנוכחית. כל חלקת נגר הייתה בגודל של 15×4 מ"ר עם שיפוע ממוצע של 0.5° , כאשר אורך החלקה היה מקביל לשיפוע. הנגר מכל חלקה נאסף על ידי משפך שהוצב במורד החלקה וממנו זרם, דרך צינור גמיש, לחבית איגום בנפח של 180 ליטר שמוקמה במורד (ארבל, 2010). משנת 1991 ועד 2011, נפח הנגר מכל חלקה נמדד לאחר כל סופת גשם. נתוני

הנגר מהחלקות והגשם הסופתי, כאשר משך סופת גשם נקבע מתחילת אירוע גשם בעובי של $1 < \text{מ"מ}$ ועד 24 שעות לאחר סיומו, נמדדו בהתאמה על ידי החביות ומד גשם רושם וזעיר, שמקומו בסמוך לחלקות הנגר. בחורף 2003-2004 הגשם והנגר לא נמדדו עקב סיבות טכניות. כמות הגשם הממוצעת לשנה, בין השנים 1994 ועד 2014, שנמדדה באתר הייתה 154 מ"מ. הטמפרטורה השנתית הממוצעת, שנמדדה במהלך שנות הניטור בתחנה מטאורולוגית סמוכה, הממוקמת בבסיס חיל האוויר בחצרים, הייתה 20.2 מ"צ. לצורך חישוב אידוי-דיות פוטנציאלי יומי (ET_0) בשיטת FAO-56 (Allen, Pereira, Raes et al., 1998), נותחו נתונים מינואר 1994 ועד ספטמבר 2014 של אקלים יומי, הכוללים טמפרטורת אוויר מרבית ומזערית יומית ממוצעת, לחות אוויר, קרינת שמש ומהירות רוח, שנלקחו מהתחנה המטאורולוגית במרכז המחקר גילת, הממוקמת במרחק אווירי של כ-7 ק"מ מאתר המחקר.

החל מפברואר 2000 ועד ספטמבר 2014 נמדדו מצב וצפיפות הצומח בתא שטח מוגדר באגן (איור 1) על ידי קביעת ערכי $NDVI$ בעזרת נוסחה [1],

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad [1]$$

כאשר RED ו- NIR מהווים את תחומי הקרינה החוזרת מפני השטח של הקרקע והצומח בתחום הספקטראלי של אדום (650-700 ננומטר) והאינפרא-אדום (750-1400 ננומטר), בהתאמה. במקרה זה, קריאת הקרינה החוזרת נעשתה בעזרת נתוני חיישן MODIS, הממוקם על גבי לוויין TERRA של NASA (https://lpdaac.usgs.gov/data_access/data_pool), כאשר הרזולוציה המרחבית של נתוני הלוויין הייתה 250 מ'.

בסתיו 2014 נדגמו דגימות קרקע מעומקים של 0-5 ו-5-15 ס"מ (עומק שכיח של שכבת הקרקע עד פני הסלע) ב-18 נקודות לאורך שלושה חתכים ממזרח למערב במדרונות האגן (איור 1). בנוסף לכך, באותו זמן, נדגמו בשש נקודות לאורך ערוץ הנחל דגימות קרקע לעומק של 120 ס"מ או עד פני הסלע ובאינטרוולים אנכיים של 15 ס"מ (איור 1). אנליזה מכנית בשיטת ההידרומטר (Gee & Bauder, 1986), תכולת חומר אורגני בשיטה רטובה (Nelson & Sommers, 1982) וגיר בקלצימטר (Nelson & Sommers, 1982), ריכוזים זמינים של $N-NH_4$, $N-NO_3$ ו- $P-PO_4$ וערכי מוליכות חשמלית (EC) ו-pH וריכוזים של Ca^{+2} , Mg^{+2} ו- Na^+ במיצוי עיסת קרקע נמדדו בכל דגימת קרקע. ערכי מנת ספיחת הנתרן (SAR) בדגימות הקרקע חושבו בעזרת נוסחה [2]:

[2]

כאשר ריכוז הקטיונים היו במא"ק לליטר.

תוצאות ודיון

תכונות כימיות ופיזיקליות של שכבות הקרקע 0-5 ו-5-15 ס"מ, שנדגמו מהמדרונות ולאורך בסיס ערוץ הנחל באתר המחקר, מובאות בטבלה 1. דגימות הקרקע לאורך ערוץ הנחל נלקחו עד לעומק של 120 ס"מ בשתי נקודות במעלה האפיק ופחות מ-30 ס"מ בשאר נקודות הדיגום בערוץ, עקב הימצאות סלע בעומק זה. לכן, בטבלה 1 מובאות תכונות הקרקע בשכבות 0-5 ו-5-15 ס"מ בלבד, שמהן נלקחו דגימות קרקע מכל נקודות הדיגום במדרונות ולאורך בסיס הערוץ. הקרקע בערוץ הנחל הייתה באופן מובהק חרסיתית יותר ובעלת תכולה גבוהה יותר של חומר אורגני מאשר הקרקע במדרונות בשכבות 0-5 ו-5-15 ס"מ (טבלה 1). לא נמצאו הבדלים מובהקים בתכולת הסילט והגיר בקרקע שנדגמה מהמדרון לבין הקרקע שנדגמה מתחתית הערוץ. סביר להניח, שסחיפה של חומר דק, בעיקר חרסית וחומר אורגני מפני הקרקע במדרונות לעבר אפיק הנחל, גרמה לעלייה בתכולת החרסית ובחומר האורגני בקרקע בתחתית הערוץ. הריכוזים הזמינים של המזינים, $N-NH_4$, $N-NO_3$ ו- $P-PO_4$, בקרקע מהמדרונות ומאפיק הנחל היו נמוכים יחסית, כאשר ריכוזי ה- $N-NO_3$ וה- $P-PO_4$ היו גבוהים באופן מובהק בשכבה העליונה, 0-5 ס"מ, מאשר בשכבה 5-15 ס"מ בדגימות שנדגמו מהמדרונות ומאפיק הנחל. בנוסף לכך, ריכוזי ה- $N-NO_3$ וה- $P-PO_4$ היו גבוהים באופן מובהק בקרקעות באפיק מאשר במדרונות. כנראה שהסחיפה של שכבת הקרקע העליונה והפרייה יותר מהמדרונות לתחתית הערוץ העלתה את הריכוזים של מזינים אלה בתחתית הנחל ודלדלה את ריכוזם במדרונות. למרות תנאי האקלים הצחיחים באזור המחקר, ערכי המליחות (EC) והניתרון (SAR) בקרקעות במדרון בערוץ היו נמוכים. כנראה, שכמות הגשם השנתית (ערך ממוצע שנתי של 154 מ"מ שנמדד בין השנים 1994 ועד 2014) הספיקה לשטוף את המלחים מהקרקע מתחת לעומק של 15 ס"מ. עם זאת, ערכי ה-SAR בקרקע במדרונות היו גבוהים באופן מובהק מאשר בתחתית הערוץ. מכאן, שהקרקע במדרונות רגישה יותר להרס מבנה, לדיספרסיה של חרסית ולהיווצרות קרומים פיזיקליים במהלך הגשמים מאשר הקרקע בתחתית הערוץ.

טבלה 1: ערכים ממוצעים של המדדים, תכולות חרסית, סילט, גיר וחומר אורגני בקרקע (א') ותכולה זמינה של מקרו-זינים בקרקע וערכי מוליכות חשמלית (EC) ומנת ספיחת נתרן (SAR) במיצוי עיסה רוויה של דגימות הקרקע שנלקחו מעומקים 0-5 ו-5-15 ס"מ במדרון ובבסיס הערוץ באתר המחקר (ב'). בהתאמה, עבור טבלה א' וב' בנפרד, אותיות באנגלית קטנות או גדולות ליד הממוצעים מציינות הבדלים סטטיסטיים מובהקים בין המדרון לבסיס הנחל עבור כל מדד ושכבת קרקע נתונה, או בין שכבות הקרקע עבור כל מדד ומיקום דגימה (מדרון או ערוץ).

Table 1: Average values of clay and silt content, lime and organic matter in the soil (A) and available content of macro-nutrients, Electrical conductivity (EC) and Sodium Adsorption Ratio (SAR) of the soil extract. Soil samples were taken at two soil horizons – 0–5 and 5–15 cm along the slope and stream bed (B). Capital and small letters, near the presented values state the significance link between the slopes and stream bed for each soil horizon, or between locations.

א

עומק הקרקע Soil Depth	Clay חרסית		Silt סילט		Lime גיר		Organic matter חומר אורגני	
	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed
ס"מ cm	----- % -----							
5-0	6.8 bB	14.5 aA	12.1 aA	10.5 aA	12.6 aA	15.6 aA	0.7 bA	2.3 aA
15-5	9.8 bA	13.5 aA	11.6 aA	8.4 aA	13.3 aA	15.2 aA	0.5 bA	1.2 aA

ב

מיצוי עיסה רוויה Saturation paste extraction				ריכוזים זמינים של מזינים בקרקע Available nutrients						עומק הקרקע Soil Depth
SAR		EC		P-PO ₄		N-NH ₄		N-NO ₃		
בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	בסיס הנחל Stream bed	מדרון Slope	
0.5 (מ"א"ק")		dS/m		----- מ"ג/ק"ג -----						ס"מ cm
0.4 bA	1.0 aA	0.7 aA	0.6 aA	12.6 aA	6.4 bA	10.1 bA	12.6 aA	13.6 aA	3.0bB	5-0
0.3 bA	1.3 aA	0.5 bA	0.6 aA	6.7 aB	3.4 bB	7.9 bA	11.8 aA	5.4 aB	1.6 bA	15-5

רצף ערכי ה-NDVI שנמדדו משנה הידרולוגית 2000 ועד שנה הידרולוגית 2013 מובא באיור 2א', כאשר שנה הידרולוגית מתחילה בחודש ספטמבר ומסתיימת בחודש מאי של השנה העוקבת. כל ערך של NDVI באיור מהווה ערך מרבי (Maximum Value Composite – MVC), שהתקבל במהלך 16 ימים רצופים של נתונים מהלוויין (סדרת מדידה). הערך המרבי של מדד ה-NDVI בכל שנה הידרולוגית התקבל לקראת סיום השליש האחרון של עונת הגשמים, לרוב בחודש מרס, וערכי ה-NDVI הנמוכים ביותר התקבלו לרוב בתקופה שבין אוקטובר לנובמבר, בשיא העונה היבשה ולפני תחילת עונת הגשמים העוקבת. בעבודה של קרניאלי (Karnieli, 2003), שבחנה את השינויים בפני הקרקע עם הזמן באזור פארק סיירת שקד, בעזרת מדידות ישירות נמצא: (1) שהתחלת הפעילות הפוטוסינתטית של הקרום הביולוגי מתחילה עם אירוע הגשם האפקטיבי הראשון, ושיא פעילותו מתרחש בין חודש לחודשיים לאחר מכן; (2) שיא הפעילות של הצמחייה העונתית חל בחודשים פברואר מרס, כשלושה עד ארבעה חודשים לאחר הגשם הראשון האפקטיבי, ולאחר מכן צמחייה זו קמלה; (3) הפעילות הפוטוסינתטית של הצמחייה הרב-שנתית מתרחשת במהלך כל השנה, כאשר שיא הפעילות שלה חלה כחמישה חודשים (באפריל, מאי) לאחר הגשם האפקטיבי הראשון. על פי תוצאות אלו של קרניאלי (Karnieli, 2003) ניתן להסיק, שהערכים המרביים של ה-NDVI (איור 2א'), שהתקבלו לרוב בחודש מרס בכל שנה הידרולוגית, נבעו בעיקר מהתפתחות צומח עונתי באזור הנמדד, והירידה החדה בערכים אלה לאחר מכן נבעה מקמילה שלהם.

לאורך שנות הניטור של הצמחייה (איור 2א') אובחנה שונות ניכרת בערכי ה-NDVI בין השנים, כאשר ערך ה-NDVI המרבי בשנה ההידרולוגית 2004 היה הגבוה ביותר (0.6) והערך המרבי הנמוך ביותר (0.16) התקבל בשנה ההידרולוגית 2008. אולם, לא נצפתה מגמה

רציפה וברורה של ירידה או עלייה בערכי המקסימום או המינימום השנתיים של ה- $NDVI$ לאורך שנות הניטור (איור 2א). למרות זאת, את תקופת הניטור של ערכי ה- $NDVI$ ניתן לחלק לשתי תת-תקופות: תת-תקופה ראשונה משנת 2000 ועד 2006 ותת-תקופה שנייה משנת 2007 ועד 2013. ניתן לראות זאת מערכי הסטייה השנתיים ($Devi$) מערך ה- $NDVI$ הממוצע ($NDVI_{aver}$) של כל שנות הניטור הצמחי מהשנה ההידרולוגית 2000 ועד השנה ההידרולוגית 2013, המובאים באיור 2ב. ערכי ה- $Devi$ חושבו מנוסחה [3],

[3]

כאשר $NDVI_i$ השנתי של שנה ההידרולוגית i חושב מנוסחה [4],

[4]

כאשר $NDVI_j$ הוא הערך המחושב המרבי (MVC) שהתקבל ברצף המדידות בכל 16 ימים (סדרת מדידה), j הוא המספר הסידורי בשנה ההידרולוגית של סדרות המדידה שנעשו על ידי הלוויין, וערך ה- $NDVI_{aver}$ חושב מנוסחה [5],

[5]

כאשר N — מספר שנות התצפית בכל תקופת הניטור (2000-2013).

בתת התקופה הראשונה (2000-2006), רוב ערכי ה- $Devi$ היו חיוביים, כאשר הערכים השליליים היו קרובים לערך ה- $NDVI_{aver}$ הרב-שנתי, ואילו בתת התקופה השנייה (2007-2014) כל ערכי ה- $Devi$ היו שליליים, מלבד הערך בשנה ההידרולוגית 2013 (איור 2ב). תוצאות אלו מורות על כך, שהביומסה הירוקה של הצמחייה בתת התקופה הראשונה הייתה, על פי רוב, רבה יותר מאשר בתת התקופה השנייה. הבדלים אלה במופע הצמחים שבין שתי תת התקופות יכולו לנבוע מהבדלים בתנאי האקלים והסביבה, כגון - כמות גשם שנתי, ערכי ET_0 ושיעור נגר עילי, בין תת התקופות השונות.

כמויות גשם שנתיות משנה ההידרולוגית 1991 ועד שנה ההידרולוגית 2013, כולל ממוצע גשם רב-שנתי לכל התקופה הנמדדת, מובאים באיור 3א. תקופת הניטור של כמויות הגשם השנתיות חולקה לשלוש תת-תקופות עיקריות, טרום הניטור הצמחי באגן, ושתי תת-תקופות, הראשונה והשנייה, במהלך הניטור הצמחי בהתאם לאיור 3א. תת התקופה של טרום הניטור הצמחי מובא באיור 3א' על מנת לבחון שינויים ארוכי טווח בתנאי האקלים באזור המחקר. לא נמצאה מגמה רציפה, מתמשכת וברורה של ירידה או עלייה בכמות הגשם השנתית עם הזמן, במהלך כל תקופה ניטור הגשם מ-1991 ועד 2013 (איור 3א). בתת התקופה של טרום הניטור הצמחי (1991-1999), השונות בכמויות הגשם השנתיות הייתה גדולה, כאשר ארבעה חורפים היו גשומים ומעל הממוצע הרב-שנתי וארבעה חורפים היו שחונים ומתחת לממוצע הרב-שנתי (איור 3א). בתת התקופה משנה 2000 ועד 2006 (תת התקופה הראשונה על פי הניטור הצמחי), כמויות הגשם השנתיות היו גבוהות מממוצע הגשם הרב-שנתי, לעומת כמויות גשם שנתיות, הנמוכות מהממוצע בתת התקופה משנת 2007 ועד 2013 (תת התקופה השנייה על פי ניטור הצומח), למעט השנה 2013 (איור 3א). תת התקופה השנייה של הניטור הצמחי אופיינה גם בכמות גשם ממוצעת לסופה קטנה ובממוצע של מספר ימי גשם מועט באופן משמעותי לעומת תת התקופה הראשונה ותת התקופה של טרום הניטור הצמחי באגן (טבלה 2). כמויות הגשם השנתיות בשתי תת-תקופות הניטור הצמחי (איור 3א) וערכי ה- $NDVI$ המרביים השנתיים התואמים באותן תת-תקופות (איור 2א) נמצאו במתאם ליניארי מובהק ($p < 0.05$, $r^2 = 0.64$) (איור 3ב). מכיוון שערכי ה- $NDVI$ המרביים השנתיים (איור 2א) משקפים את שיא ההתפתחות של הצומח העונתי, ניתן להסיק שהתפתחות הצומח העונתי בשנה ההידרולוגית נתונה מושפעת בעיקר מכמות הגשם השנתית באותה שנה, ופחות מכמות הגשם השנתית בשנים קודמות.

טבלה 2: מדדי סופות הגשם עבור העונות ההידרולוגיות בין השנים 1991 ועד 2013, ממוצעי תת התקופות השונות וממוצע כללי לכל שנות הניטור.

Table 2: Rainstorm indices for the hydrological years from 1991 till 2013, sub-period averages and total averages for the entire monitoring period.

שנה הידרולוגית Hydrological year	כמות גשם ממוצעת לסופה Average amount of rain per storm	ימי גשם בשנה Annual number of rain days	משך העונה הגשומה Rainy season duration	מספר ממוצע של ימים בין סופות הגשם Average number of days between storms
---	---	--	---	--

ימים days			מ"מ mm	
טרם ניטור צמחי Pre-monitor				
13	116	26	28	1991
14	100	16	24	1992
20	69	8	19	1993
9	123	30	24	1994
19	112	16	20	1995
11	107	23	19	1996
14	155	30	16	1997
16	149	19	8	1998
13	84	18	18	1999
14	113	21	20	ממוצע תקופתי Seasonal average
תת-תקופה ראשונה				
11	200	32	15	2000
11	166	42	14	2001
11	180	43	16	2002
ND ל.ב	ND ל.ב	ND ל.ב	ND ל.ב*	2003
12	108	21	27	2004
26	154	26	28	2005
11	163	52	17	2006
14	162	36	20	ממוצע תקופתי Seasonal average
תת-תקופה שנייה				
7	86	19	10	2007
18	150	8	9	2008
14	138	24	13	2009
18	182	20	10	2010
6	59	17	13	2011
ND ל.ב	ND ל.ב	10	11	2012
ND ל.ב	ND ל.ב	ND ל.ב	ND ל.ב	2013
13	123	16	11	ממוצע תקופתי Seasonal average
14	120	24.3	17	ממוצע כללי Total average

* ל.ב. — לא נמדד ND – no data

ממוצעים שנתיים של ערכי ET_0 יומיים בתקופה משנה הידרולוגית 1994 ועד שנה הידרולוגית 2013, כולל קו ונוסחת המתאם בין ערכי

ה-ET₀ השנתיים והשנה ההידרולוגית התואמת בכל תקופת הניטור מובאים באיור 4. כמו בנתוני הגשם השנתיים (איור 3א'), ערכי ה-ET₀ באיור 4 מובאים גם בתקופה שלפני הניטור הצמחי. זאת, כדי לבחון שינויים ארוכי טווח בתנאי האקלים באזור המחקר. למרות השונות בערכי ה-ET₀, מתאם לינארי חיובי מובהק ($p < 0.05$, $r^2 = 0.454$) נמצא בין ערכים אלה לשנות הניטור מ-1994 ועד 2013 (איור 4). מתאם זה של ערכי ET₀ עם השנים יכול לנבוע מהשינוי במדדי האקלים של טמפרטורת מזערית-מרבית של האוויר, קרינת שמש, מהירות רוח ולחות מרבית באוויר (איור 5). ערכים ממוצעים שנתיים של הטמפרטורה המרבית היומית של האוויר וקרינת השמש היומית לא השתנו באופן מובהק עם הזמן (איורים 4א' ו-4ב', בהתאמה). לעומת זאת, הערכים הממוצעים השנתיים של מהירות הרוח היומית ושל הלחות היחסית ירדו באופן לינארי עם הזמן (איורים 5א' ו-5ב', בהתאמה), ושל הטמפרטורה המזערית היומית של האוויר עלתה באופן מובהק (איור 5א'). הערכים הממוצעים השנתיים של הטמפרטורה המזערית היומית של האוויר עלו מערך ממוצע של 12 מ"צ בשנת 1994 ל-16 מ"צ בשנת 2013. בתקופה זו ירדה לחות האוויר היחסית מערך ממוצע שנתי של 79.8% בשנת 1994 ל-62.5% בשנת 2013. מכיוון שירידה במהירות הרוח אמורה להקטין את ערכי ה-ET₀, ניתן לקבוע שהעלייה המובהקת בערכי ה-ET₀ עם הזמן (איור 4) נבעה בעיקר מעלייה בטמפרטורה המזערית (איור 5א') ומירידה בלחות האוויר (איור 5ב'). למרות העלייה הלינארית המובהקת בערכי ה-ET₀ עם השנים משנת 1994 ועד 2013 (איור 4), לא נצפתה ירידה תואמת בערכי ה-NDVI המרביים עם השנים (איור 2א'). כנראה, שלעלייה ממוצעת שנתי של 0.01 מ"מ בערכי ה-ET₀ (איור 4) השפעה שולית על התפתחות הצומח העונתי. תוצאות אלו מחזקות את ההשערה, שנכתבה למעלה, שהתפתחות של הצומח העונתי מושפעת כנראה בעיקר מכמות הגשם השנתית המספקת לצמח מים, ופחות ממגמת שינוי קטנה באקלים.

גורם עילי מהווה איבוד מים זמינים לצמח באזור שממנו הם ניגרים, מחד גיסא, ומקור מים לצמח באזור שאליו הם זורמים, מאידך גיסא. לכן, שינויים בשיעורי הנגר עם הזמן יכולים להשפיע על התפתחות הצומח באזור אגן ההיקוות. כמויות נגר (א') ויחסי נגר/גשם (ב') שנתיים לתקופה משנה ההידרולוגית 1991 ועד שנה ההידרולוגית 2011, כפי שנמדדו בחלקות הנגר, כולל ממוצע רב-שנתי לכל התקופה הנמדדת מובאים באיור 6. כמו באיורים 3א' ו-4, הערכים באיור 6 מתייחסים גם לתקופה שלפני הניטור הצמחי, כדי לבחון שינויים ארוכי טווח ביחסי נגר/גשם. על אף שחלקות הנגר ממוקמות במרחק של כ-800 מ' מאגן ההיקוות (איור 1), שיעורי הנגר שנמדדו מחלקות אלו יכולים להוות הערכה טובה יחסית לנגר העילי שהתקבל במדרונות האגן. במשך השנים אובחנה שונות ניכרת בכמויות הנגר, אולם לשונות זו לא הייתה מגמה רציפה ועקבית עם הזמן (איור 6א'). כמויות הנגר הגבוהות ביותר, 74.7 ו-54.1 מ"מ, התקבלו בשנים ההידרולוגיות 1994 ו-2000, בהתאמה, והנמוכה ביותר, כ-3.5 מ"מ, התקבלה ב-1995 וב-1998 (איור 6א'). עם זאת, נמצא, שהערכים הממוצעים של הנגר השנתי, בחלקות המחקר, בתת-תקופה של טרום הניטור הצמחי (שנים 1991-1999) ובתת התקופה הראשונה של הניטור הצמחי (שנים 2000-2006)

היו גבוהים ודומים 23.3 ו-22.3 מ"מ, בהתאמה (איור 6א'). לעומת זאת, הערך הממוצע של הנגר השנתי בתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי (2007-2011) ירד באופן חד ל-9.0 מ"מ. סביר להניח, שהירידה בכמויות הגשם (איור 3א') והנגר (איור 6א') השנתיים בתת התקופה השנייה, לעומת תת התקופה הראשונה של הניטור הצמחי, הקטינו בתת התקופה השנייה את כמות המים הזמינים לצמחים שגדלו במדרונות ולאורך ערוצי ניקוז בלתי מופרים באגן, הניזונים בעיקר מזרימת נגר מהמדרונות.

הפחיתה בכמויות הנגר השנתיים בתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי (איור 6א') יכלה לנבוע משלושה גורמים עיקריים: (1) פחיתה בכמויות הגשם השנתיים בתת-תקופה זו לעומת תת התקופה הראשונה כפי שנצפה באיור 3א'), כאשר הנגר מהווה חלק מכמות הגשם שלא חדרה לקרקע באזור המומטר; (2) ממוצע עוצמות הגשם הסופתיות בתת התקופה השנייה היה נמוך מאשר בתת התקופה הראשונה של הניטור הצמחי; (3) שינוי בחיפוי פני הקרקע על ידי הצומח, הנשר שלו והקרום הביולוגי. בעבודה של בוקן ואורנשטיין (Boeken & Orenstein, 2001), שנעשתה בפארק סירט שקד נמצא, שנוכחות נשר על פני המדרונות הפחיתה באופן מובהק את כמות הנגר כתוצאה מחספוס פני המדרון, שהעלתה את פוטנציאל החידור של מי הנגר אל אזור בית השורשים של הצמח. הערכים הממוצעים של יחסי נגר/גשם שנתיים בתת התקופה הראשונה והשנייה של הניטור הצמחי היו 0.11 ו-0.08, בהתאמה (איור 6ב'), שמשמעותם ירידה של כ-27% ביחס נגר/גשם הממוצע בתת-תקופת הניטור הצמחי השנייה לעומת תת התקופה הראשונה של הניטור הצמחי. לעומת זאת, ממוצעי הגשם השנתיים בתת התקופה הראשונה והשנייה של הניטור הצמחי היו 201.3 ו-116.7 מ"מ, בהתאמה (איור 3א'), שמשמעותם ירידה של כ-40% בממוצע הגשם בתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי לעומת הראשונה. מכיוון שהיחס נגר/גשם שווה לכמות הנגר ליחידת גשם, אזי הירידה בערך הממוצע של כמות הנגר ליחידת גשם מתת התקופה הראשונה לתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי הייתה קטנה מאשר הירידה בערך הממוצע של הגשם השנתי באותן תת-תקופות. זאת למרות, שפני הקרקע בתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי היו חשופים יותר למכות טיפות הגשם, להיווצרות קרומים פיזיקליים מפותחים יותר ולזרימה עילית של מי הנגר מאשר בתת התקופה הראשונה, עקב הירידה המשמעותית בהתפתחות הצומח בתת התקופה השנייה (איור 2). כנראה, שעוצמות הגשם ו/או התפתחות הקרום הביולוגי היו פחותות יותר בתת התקופה השנייה מאשר בתת התקופה הראשונה של הניטור הצמחי, ואפשרו חדירה רבה יותר של מי גשם לקרקע ולהיווצרות כמות נגר קטנה יותר ליחידת גשם בתת התקופה השנייה של הניטור הצמחי.

ערכי NDVI ממוצעים עבור החודשים מרס ואפריל (אביב), המשקפים את התפתחות הצומח העונתי, ועבור החודשים יוני, יולי, אוגוסט וספטמבר (קיץ), המשקפים את ההתפתחות של הצומח הרב-שנתי, כאשר כמעט שלא קיים צומח עונתי, בכל שנה ההידרולוגית נתונה בשתי תתי התקופות של הניטור הצמחי מובאים באיור 7. היחסים בין הערכים הממוצעים של ה-NDVI בתת התקופה הראשונה לבין תת התקופה השנייה עבור הצומח העונתי והרב-שנתי היו 1.27 לעומת 1.1, בהתאמה. כדי לבחון את ההשפעה של השינויים האקלימיים והסביבתיים בין שתי תתי התקופה של הניטור הצמחי, ולהשוואה בין השפעות אלו על הצומח העונתי והרב-שנתי עם מינימום סטיות סביבתיות, היחס בין

הערכים הממוצעים של ה- $NDVI$ בתת התקופה הראשונה לבין תת התקופה השנייה, עבור הצומח העונתי והרב-שנתי, חושבו כערכים מנורמלים (R_n) בעזרת נוסחה [6],

[6]

כאשר $NDVI_{aveP}$ הוא ערך $NDVI$ ממוצע תקופתי לחודשים מרס ואפריל עבור הצומח העונתי או לחודשים יוני, יולי, אוגוסט וספטמבר עבור הצומח הרב-שנתי; $NDVI_{aveT}$ הוא ערך ממוצע שנתי של ה- $NDVI$ לכל שנות הניטור הצמחי משנת 2000 ועד שנת 2013 עבור הצומח העונתי או הצומח הרב-שנתי. ערכי ה- R_n חושבו בנפרד לצומח העונתי, שבו ערכי ה- $NDVI_{aveP}$ וה- $NDVI_{aveT}$ היו עבור הצומח העונתי, ולצומח הרב-שנתי, שבו ערכי ה- $NDVI_{aveP}$ וה- $NDVI_{aveT}$ היו עבור הצומח הרב-שנתי.

ערכי ה- R_n , שחושבו מנוסחה [6], עבור הצומח העונתי והרב-שנתי היו 3.72 ו-6.83, בהתאמה. מכאן, שהתפתחות הצומח הרב-שנתי נפגעה פי 1.8 בממוצע מאשר הצומח העונתי במעבר מתת התקופה הראשונה לתת התקופה השנייה הצחיחה יותר של הניטור הצמחי. הפגיעה הרבה של הצומח הרב-שנתי במעבר מתת התקופה הראשונה לתת התקופה השנייה נבעה כנראה מכך, שהצומח הרב-שנתי, מלבד רגישותו לכמות הגשם השנתית, מושפע באופן משמעותי גם מהרציפות בשנות הבצורת ומפחיתת בכמויות הנגר בשנים אלו, המהוות מקור מים נוסף לצומח זה. לעומת זאת, הצומח העונתי מושפע בעיקר מכמות הגשם השנתית, שממנה הוא צורך את כל כמות המים במהלך גדילתו.

סיכום ומסקנות

בעבודה הנוכחית נבחנה ההשפעה ארוכת הטווח של תנודות אקלימיות והידרולוגיות על פעילות צומח עונתי ורב-שנתי באגן מחקר בלתי מופר, בפארק סירת שקד כנגב הצפוני. מניטור של מצב וצפיפות הצומח שנעשה על ידי קביעת ערכי $NDVI$, מדידות נגר עילי שנמדדו מחלקות נגר מדרוניות ומדדים אקלימיים שונים שנלקחו מתחנות מטאורולוגיות באזור נמצא:

1. ניטור מצב הצומח באתר המחקר מהשנה ההידרולוגית 2000 ועד שנה ההידרולוגית 2013 הצביע על שתי תת-תקופות שנבדלו זו מזו באופן מובהק; תת-תקופה ראשונה, שהחלה משנה ההידרולוגית 2000 ועד השנה ההידרולוגית 2006, ותקופה שנייה, שהחלה מהשנה ההידרולוגית 2007 ועד 2013. בתת התקופה הראשונה הבימוסה הירוקה של הצמחייה (ערכי $NDVI$) הייתה על פי רוב, גדולה יותר מאשר בתת התקופה השנייה.
2. במהלך כל תקופת הניטור הצמחי, כמויות הגשם השנתיות וערכי ה- $NDVI$ המרביים השנתיים התואמים נמצאו במתאם ליניארי חיובי מובהק. מכיוון שערכי ה- $NDVI$ המרביים השנתיים משקפים את שיא ההתפתחות של הצומח העונתי, ניתן להסיק שהתפתחות צומח זה בשנה ההידרולוגית נתונה הושפעה בעיקר מכמות הגשם השנתית באותה שנה, ופחות מכמויות הגשם השנתיות בשנים קודמות.
3. מתאם ליניארי חיובי מובהק נמצא גם בין ערכי ET_0 השנתיים לבין שנת המדידה במהלך השנים מ-1994 ועד 2013. עלייה זו בערכי ה- ET_0 עם הזמן נבעה בעיקר מעלייה בטמפרטורה המזערית היומית ומירידה בלחות המרבית היומית של האוויר באזור.
4. למרות העלייה הליניארית המובהקת בערכי ה- ET_0 עם השנים לא נצפתה ירידה תואמת בהתפתחות הצומח העונתי. כנראה, שלעלייה ממוצעת שנתית של 0.01 מ"מ בערכי ה- ET_0 עם השנים השפעה שולית על התפתחות הצומח העונתי.
5. הצומח הרב-שנתי נפגע פי 1.8 בממוצע מאשר הצומח העונתי במעבר מתת התקופה הראשונה לגשומה לתת התקופה השנייה הצחיחה יותר בניטור הצמחי. פגיעה משמעותית זו בצומח הרב-שנתי נבעה כנראה מכך, שהצומח הרב-שנתי, מלבד רגישותו לכמות הגשם השנתית, מושפע באופן משמעותי גם מהרציפות בשנות הבצורת ומפחיתת בכמויות הנגר בשנים אלו, המהוות מקור מים נוסף לצומח זה, בעוד שהצומח העונתי מושפע בעיקר מכמות הגשם השנתית, שממנה הוא צורך את כל כמות המים במהלך גדילתו.

מקורות

- ארבל, ש. (2010). יחסי גשם-נגר ממדרונות לס, בממשקי ניהול שטח שונים באזור צחיח וצחיח למחצה. עבודת גמר לקבלת תואר מוסמך, אוניברסיטת חיפה.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and Drainage Paper 56*. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/X0490E/X0490E00.htm>
- Ben-Hur, M. (2008). Seal formation effects on soil infiltration and runoff in arid and semiarid regions under rainfall and sprinkler irrigation conditions. In: F. Zereini & W. Jaeschke (Eds.), *Climatic changes and water resources in the Middle East and in North Africa* (p. 429–452). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Boeken, B. (2014). *Park Shaked LTER- Ma'arag station*. JNF Annual report.
- Boeken, B. & Orenstein, D. (2001). The effect of plant litter on ecosystem properties in a Mediterranean semi-arid shrubland. *Journal of Vegetation Science*, 12, 825–832.
- Boeken, B. & Shachak, M. (1998). The dynamics of abundance and incidence of annual plant species during colonization in a desert.

- Ecography*, 1, 63–73. <http://doi.org/10.1111/j.1600-0587.1998.tb00394.x>
- FAO. (2015). *Climate change and food systems: global assessment and implications for food security and trade*. Food Organization and the United Nations (FAO).
- FAO. (1991). *Water harvesting. A manual for the design and construction of water harvesting schemes for plant production* (W. Critchley & K. Siegert, Eds.) (AGL/MISC/1). FAO, Rome.
- Gee, G. W. & Bauder, J. W. (1986). Particle size analysis. In *Methods of soil analysis, Part 1. Physical and mineralogical methods* (pp. 383–411).
- Golodets, C., Sternberg, M., Kigel, H., 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 (3–4) 785–798. DOI: 10.1007/s10584-013-0758-8
- Helman, D., Mussery, A., Lensky, I. M., Leu, S. (2014). Detecting changes in biomass productivity in a different land management regimes in drylands using satellite-derived vegetation index. *Soil use and Management*, 30 (1), 32–39. DOI: 10.1111/sum.12099
- IPCC Climate Change. (2007). *The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (S. Solomon, D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, ... H. L. Miller, Eds.), *Fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (Vol. 2010). Cambridge University Press.
- Jacquín, A., Sheeren, D., & Lacombe, J. P. (2010). Vegetation cover degradation assessment in Madagascar savanna based on trend analysis of MODIS NDVI time series. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12, 3–10. <http://doi.org/10.1016/j.jag.2009.11.004>
- Karnieli, A. (2003). Natural vegetation phenology assessment by ground spectral measurements in two semi-arid environments. *International Journal of Biometeorology*, 179–187. doi:10.1007/s00484-003-0169-z
- Lal, R. (2004). Carbon sequestration to mitigate climate change. *Geoderma*, 123 (1–2), 1–22.
- Malo, A. & Nicholson, S. (1990). A study of rainfall and vegetation dynamics in the African Sahel using normalized difference vegetation index. *Journal of Arid Environments*, 19, 1–24.
- Nelson, D.W. & Sommers, L.E. (1982). Total carbon, organic carbon, and organic matter. In *Methods of Soil Analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties* (pp. 383–411).
- Nicholson, S.E., Davenport, M.L., & Malo, A.R. (1990). A comparison of the vegetation response to rainfall in the Sahel and East Africa, using Normalized Difference Vegetation Index from NOAA AVHRR. *Climatic Change*, 17, 209–241.
- Shachak, M., Sachs, M., & Moshe, I. (1998). Ecosystem management of desertified shrublands in Israel. *Ecosystems*, 1(5), 475–483. <http://doi.org/10.1007/s100219900043>
- Smiatek, G., Kunstmann, H., & Heckl, A. (2011). High-resolution climate change simulations for the Jordan River area. *Journal of Geophysical Research*, 116. <http://doi.org/10.1029/2010JD015313>
- UNCCD. (2011). *Desertification: A visual synthesis*. United Nations Convention to Combat Desertification (UNCCD).
- Vicente-Serrano, S. M. (2006). Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region. *Natural Hazards*, 40(1), 17–208. <http://doi.org/10.1007/s11069-006-0009-7>
- Vicente-Serrano, S.M., Zouber, A., Lasanta, T., & Pueyo, Y. (2012). Dryness is accelerating degradation of vulnerable shrublands in semiarid mediterranean environments. *Ecological Monographs*, 82(4), 407–428. <http://doi.org/10.1890/11-2164.1>
- Zaady, E., Groffman, P.M., Shachak, M. (1996). Litter as a regulator of N and C dynamics in macrophytic patches in Negev desert soils. *Soil Biology & Chemistry*, 28(1), 39–46.
- Ziv, B., Saaroni, H., Pargament, R., Harpaz, T., & Alpert, P. (2013). Trends in rainfall regime over Israel, 1975–2010, and their relationship to large-scale variability. *Regional Environmental Change*, 13(5), 1751–1764. <http://doi.org/10.1007/s10113-013-0414-x>

השפעת הוספת אפר פחם בבור הנטיעה על ההישרדות וההתפתחות של עצי חורש מועתקים ושתילים במכלי 25 ליטר

אלי בנישו וניר הר, מרחב צפון, קק"ל
elibe@kkl.org.il

תקציר

בתהליך ייצור חשמל בתחנות כוח נוצרות כמויות גדולות של אפר פחם (תחתי + מרחף), שיש למצוא להן שימוש. אחד השימושים העיקריים של עודפי האפר הוא בתחום החקלאות. נערך ניסיון של הוספת אפר פחם בנטיעת עצים מועתקים ושיתלים גדולים, שבו נבדקה השפעת האפר על קליטת העצים ועל התפתחותם. הוקמו שתי חלקות ניסיון, האחת ביער הר אחים והשנייה ביער עין תות. בשני האתרים נבחנה השפעת האפר פחם בתוספת קומפוסט (30%) על עצים מועתקים של אלון התבור ואלון מצוי, ובשיתלים גדולים (נפח גוש שורשים 25 ליטר), בעיקר מהמינים אלה אטלנטית ואלה ארץ ישראלית. ההעסקה נעשתה בשנת 2012 ונבחנה לאחר שלוש שנים. נמצא מתאם שלילי מובהק בין העצים שקיבלו טיפול אפר לבין הביקורת בעצים המועתקים ביער הר אחים במדדים של קוטר העצים, גובה, צימוח צדדי ולגובה, קוטר נוף לבין חיוניות העצים. בהשוואה של שרידות העצים בטיפול באפר הפחם לעומת הביקורת בעצים המועתקים בהר אחים, נמצא שיש קשר הפוך מובהק ($P=0.014$). כלומר, אחוז ההשרדות בעצים שקיבלו תוספת אפר היה נמוך משמעותית לעומת הביקורת. בשיתלים גדולים בשני האתרים נבחנו המדדים גובה וקוטר תחתון ונמצא שאין השפעה מובהקת לתוספת אפר פחם על השיתלים שקיבלו טיפול זה לעומת הביקורת. הסבר אפשרי לתוצאות השליליות האלו יכול להיות קשור לעובדה, שתוספת האפר מעלה את PH של הקרקע, וכתוצאה מכך, זמינות יסודות הקורט יורדת לרמה שמשפיעה לרעה על החיוניות ועל ההשרדות של העצים. תגובות חיוביות לתוספת אפר פחם נמצאו במחקרים שנעשו בקרקעות קלות, חומציות ודלות בחומר אורגני, ואילו בקרקעות של אתרי הניסוי מסוג טרה רוסה ורנדזינה חומה, שהן חרסיות ובסיסיות, אין יתרון לטיפול באפר. מסקנה כללית חשובה ממחקר זה ואחרים היא, שלאור השפעת הרחבה של האפר בתחומים רבים על הקרקע (פיזיקלי, כימי וביולוגי) יש להתאים את יישום האפר בקרקע בהתאם למאפייניהם של האפר ושל הקרקע שבה הוא מיושם ולתנאים האגרו-אקלימיים. ייחודו של מחקר זה, בהקשר של ניסויי אפר פחם, הוא שכנראה הוא הראשון שנעשה על עצים מועתקים ובקרקע חרסית בסיסית.

מילות מפתח: אפר פחם, העתקות עצי חורש, הישרדות עצים מועתקים, שתילים גדולים.

מבוא

בתהליך ייצור חשמל בתחנות כוח, המופעלות על ידי פחם, נוצרות כמויות גדולות של אפר פחם, כשארית של שריפת הפחם וכמוצר לוואי של ייצור החשמל. הפחם המיוצא לישראל מכיל 4-15 אחוז אפר ממשקלו (אתר מנהלת אפר פחם, 2011). בתהליך השריפה עצמו נוצרים אפר מרחף (fa), המהווה כ-90% מכלל האפר, והשאר הוא אפר תחתי (bottom ash). בארץ הוקמה "מנהלת אפר הפחם" כדי למצוא מגוון שימושים לכמויות הגדולות של אפר, הנוצרות בתהליך ייצור החשמל, כגון: חומר גלם בתהליך ייצור מלט ובבניית סוללות לכבישים ולמחלפים. המנהלת משקיעה משאבים רבים בפיתוח יישומי האפר בתחום החקלאות ובחקירת ההיבטים הסביבתיים-בריאותיים הקשורים בשימוש בו.

השפעת האפר על איכות הקרקע

מחקרים שבדקו את השפעת האפר (אתר מנהלת אפר הפחם והמכון למדעי הקרקע, 2014) הראו את תרומתו של אפר הפחם בתחומי החקלאות הבאים: כמצע מחליף קרקע, כרכיב בקומפוסט וכתוסף לקרקע לשיפור מבני בשלושה סוגי קרקע: (1) בקרקע חרסיתית למניעת סידוק; (2) בקרקעות לס בדרום למניעת היווצרותו של קרום בלתי חדיר למים; (3) בקרקע חולית לשיפור תאחיזת המים. האפר המרחף אף מפחית סחף קרקע ופועל כמייצב חולות בדיונות. כמו כן, נמצא שאפר פחם מרחף בתערובת עם בוצת שפכים וסיד עשוי לדכא מחלות שוכנות קרקע.

אפר פחם בתערובת עם קומפוסט משמש כמצע בעל תכונות מבוקשות לגידול צמחים בהיבטים של יחס אוויר מים רצוי, מוליכות ותאחיזת מים טובה יותר, יציבות במרקם הקרקע וניקיון ממחלות ועשבי בר.

נמצא, שמצע אפר פחם מעורב עם חומרים אורגניים ואנאורגניים הביא לשיפור בתכונות הקרקע בהשוואה לאפר בלבד (Ram & Masto, 2014). החוקרים מצינים את השפעת המצע בתחום שיפור פיזי, כימי וביולוגי של הקרקע שבו הוא מיושם. חומרים כמו סיד, גבס, בוץ אדום, דשן אורגני, זבל עופות ובוצת שפכים גורמים לזמינות תזונתית משופרת, ירידה במתכות רעילות וכן לשיפור בבריאות הכללית של הקרקע. במחקר הודגש, שהממצאים משקפים את ההטרונגיות של מאפייני האפר, סוגי הקרקע ותנאים אגרו-אקלימיים. בכך הוצגה מסקנה כללית חשובה, שיישום האפר בקרקע חייב להיות מותאם למאפייני האפר ולמאפייני הקרקע.

גם במחקר אחר נמצא, שתערובת של אפר פחם עם בוצת שפכים ויישומו במטע שיפרה את המצב הפיזי של הקרקע, שבא לידי ביטוי ביעילות רבה יותר של חומרי הזנה לצמחים שהביאו להגדלת היבול (Yeledhalli & Ravi, 2008). בקרקעות חומציות חל שיפור ברמת ה-PH בכך שהוא עלה מ-4 ל-7.8 (Chen & Li, 2003).

אפר פחם גרם לשיפור ערכי קיבול השדה שעלו בקרקעות חוליות וירדו בקרקעות חרסיתיות. כמו כן, ערכי הפחמן האורגני גדלו עם הוספת אפר פחם בקרקעות חול וחול-חמרה, וירדו בקרקעות חרסיתיות ובניוניות (Naveen, Harit, & Sharma, 2000). חוקרים אחרים העריכו, שהאפר משפיע על תכונותיה הפיזיו-כימיות של הקרקע, כיוון שהוא בעל PH מאוד בסיסי והוא עשיר במיקרואלמנטים שחלקם

חיוניים לצמח, אבל עני בחנקן ובזרחן זמין (Dahmendra, Upendra, Rudra et al., 2002).

בקרקות נתרניות, שמבנן פגום עקב דיספרסיה (ותגובתן בסיסית), תוספת אפר פחם ובוצה שיפרו את תכונות הקרקע רק בצורה מזערית (פיין ואחרים, 2013). כמו כן, חוקרים במכון למדעי הקרקע, בראשות פנחס פיין, מציינים, שאפר פחם עם בוצה וסיד יכול להחליף דשן, מעשיר את הקרקע בחומר אורגני וביסודות קורט חיוניים וכן מטייב מבנה קרקעות נתרניות. עם זאת, החוקרים מזהירים, ששימוש לא נכון בחומר שאינו מתחשב בתכונות הקרקע, בממשק החקלאי ובתנאי האקלים עלול לגרום לנזקים אפשריים לגידולים ולקרקע. נזקים אלו יכולים לנבוע מ-PH גבוה, מהקטנת זמינות הזרחן ויסודות קורט וכן מהגדלת זמינות הבורון והמוליבדן (מנהלת אפר הפחם, 2013).

השפעת האפר על גידול צמחים

מחקרים רבים בארץ ובעולם בחנו את הסוגיה של גידול צמחים במצע של אפר פחם עם קומפוסט או בלעדיו. בכל המחקרים נבחן הנושא גם כפתרון לבעיות הצטברות של אפר הפחם מתחנות כוח להפקת חשמל.

החוקר חן מהאוניברסיטה העברית מחזק את הדעה, שאפר התחתית בגודל גרגירים של 2-10 מ"מ, בתוספת קומפוסט, יוצר מצע טוב שניתן לגדל עליו בחממות צמחי נוי פרחים וירקות (טל, 2005). חן מציינ יתרונות נוספים למצע אפר פחם עם קומפוסט, שבאים לידי ביטוי בחיסכון של 30% מים לעומת גידול בחול, בקליטת מתכות מתונה, בהולכה טובה של חומרי דשן, בשמירה נאותה על יחס טוב בין אוויר ומים בקרקע, בדיכוי מחלות צמחים ובשמירה על חומציות הקרקע. היבט סביבתי נוסף של אפר הפחם הוא היותו חלופה לכבול המיובא, שכרייתו נאסרת במדינות רבות עקב הפגיעה הנופית.

בעצי אורן היערות (*Pinus sylvestris*) נבדקה השפעה ארוכת טווח של תוספת חנקן לאפר פחם על צמיחת העצים (Hytonen & Fennica, 2003). נמצא שההשפעה ארוכת הטווח של תוספת חנקן לאפר פחם גרמה לצמיחה גדולה יותר באופן משמעותי לעומת הביקורת או עם חנקן לבדו. ממחקר אחר אנו למדים, שפיזור אפר על העלווה גורם לעיכוב בדיות ובפוטוסינתזה (Dahmendra, Upendra, Rudra et al., 2002). ההשפעה של קומפוסט נבחנה בשילובים שונים, כולל אפר פחם, על עצי זית הגדלים באדמות שוליות (כבדות, נתרניות ובלתי מאווררות), הסובלים לעתים ממחסור של יסודות קורט (דג וגל, 2010). נמצא, שתוספת חומר אורגני (אפר פחם עם קומפוסט בריכוז של 30%) בא לידי ביטוי בעצים מפותחים יותר, אך מאידך חלה עלייה בתכולת הכלוריד והנתרן בעלים. אשל (2000) העריך, ששימוש באפר פחם, המורכב בעיקר מתחמוצות צורן אלומיניום וברזל, ויסודות קורט, יש לקחת בחשבון שהם עלולים בחלקם לגרום נזק לחי ולצומח. חוקרים אחרים (Barman, Kisku, & Bhargava, 1999) מצאו הצטברות של מתכות כבדות (Cr, Ni, Fe, Zn, Cu, Cd, Pb) בירקות שגודלו על גבי מצע אפר פחם. בדוח של הפקולטה למדעי החקלאות והמזון, שהוגש על ידי החוקרים חן ואחרים, הם מציינים, שלאפר הפחם תכונות כימיות שלעיתים אינן רצויות לצמחים ועלוולות לגרום להרעלת הצמחים. רעילות זו קשורה ליסודות הנמצאים באפר פחם, כגון אלומיניום, ניקל, קדמיום ובורון וכן מתכות מקבוצת האוקסי-אניונים (Cr, As) (חן, אביעד ומגדל, 2003).

במחקר שבוצע על שני מיני עצים, הראשון (*Liquidambar styraciflua*) והשני שקמה (*Platanus occidentalis* L.), באגנים נטושים, נמצא, שבטיפול של אפר פחם הייתה צמיחה רבה בגובה ובקוטר ביחס לביקורת (Claire & Domy, 1990). התקבל גם ריכוז גבוה יחסית של יסודות קורט, אולם החוקרים העריכו שהצימוח קשור ליכולת של מצע האפר להחזיק מים.

בסדנה שהתקיימה במרכז וולקני על ידי המכון למדעי הקרקע המים והסביבה (סדנה בינלאומית לשימוש באפר פחם בחקלאות, 2014) הציגו חוקרים ממדינות שונות את מחקריהם וניסיונם. Aiken מאוסטרליה ציין את חשיבות מיסוד היישום שצפוי להימשך שנים והוא יתבסס על מחקרי שדה שתוצאותיהם ישפיעו על יישום אפר פחם בשטח על ידי החקלאים. Kumar מהודו ציין, שממצאי המחקר מצביעים על כדאיות יישום של אפר פחם בחקלאות, בעיקר כמקור ליסודות הזנה, במדדי צימוח (גובה וקוטר) ביעור, בהקטנת תמותה של זנים שונים ובשיקום קרקעות נתרניות. Wayne מדרום אפריקה הצביע על מחסור בקרקעות חקלאיות זמינות, הגורם לכך שנעשה שימוש בקרקעות חומציות ודלות בחומרי הזנה. במחקר שנמשך 15 שנה נבחנה תוספת של אפר פחם כתחליף לסיד, שסייעה בהעלאת ה-PH ובשמירתו בתחום הנדרש לצמחים ושיפרה את תכונות הקרקע. פיין (מכון וולקני) ציין את הפוטנציאל האגרנומי באפר מרחף, שבא לידי ביטוי בשיפור מבנה קרקעות של חול ושל לס חרסיתי ונתרני, וזאת בעזרת תכונותיו הפיסיקליות של האפר פחם ותורמתו לדישון הקרקע ביסודות הזנה מן האפר כרכיב בבוצה מיוצבת באפר ובסיד. עם זאת, יש לציין, שבניגוד לקרקעות המוזכרות במחקרים שנעשו בארצות צפוניות גשומות וקרות מחד גיסא, ובאזורים טרופיים מאידך גיסא, שבהם סלע האם אינו גירני והקרקעות הן בעלות תגובה חומצית מאוד, קרקעות ישראל מאופיינות בתגובה ניטרלית-בסיסית.

בניסוי שנעשה בקרן קימת לישראל על עצים מועתקים מושקים, יחד עם מנהלת אפר הפחם (חן, וינברגר, בנישו ואחרים, 2009) נמצא (על סמך התרשמות), שאפר הפחם (אפר תחתית מנופה 2-8 מ"מ) יחד עם 25% קומפוסט (שמקורו בוצה) ואשר שימש כמצע בתוך בורות הנטיעה, שיפר את הקליטה והלבוב, שהיו טובים יותר על מצע הפחם מאשר בקרקע טבעית (טרה רוסה).

לאחר שנה נעשו מדידות מדויקות יותר ונמצא יתרון מובהק לעצים שגדלו על מצע אפר פחם בצימוח צדדי, שהתבטא בהגדלת הקוטר של נוף העץ ובאורך צימוח ממוצע רב יותר. כמו כן, נמדדה צפיפות השורשים ונראה שהשורשים היו רבים יותר במצע האפר (לא מובהק סטטיסטית עקב מדגם קטן) ובמצע זה נצפה צימוח של שורשים מתוך שטח החתך של השורשים המועתקים שנחתכו בהעתקה. גם כאן ההתרשמות הכללית הייתה, שיש יתרון לעצים שגדלו על מצע האפר הן בצימוח והן בצפיפות השורשים (הר ובנישו, 2009).

היפותזות המחקר הייתה, שתוספת אפר פחם עם קומפוסט (30%) בעצים בוגרים מועתקים (אלון תבור ואלון מצוי) וכן בנטיעת שתילים גדולים תשפר את קליטתם והתפתחותם.

חומרים ושיטות

הרכב כימי ותיאור האפר פחם התחתי

מקור האפר פחם (Coal ash) הוא שארית מינרלית משריפת פחם בתחנות ליצור חשמל (אתר מנהלת אפר פחם). אפר הפחם משתייך לקבוצת תוצרי שריפת הפחם (CCPs). בממוצע מכיל הפחם הנשרף בישראל 10% אפר פחם. ישנם שני סוגי פחם: תחתי ומרחף. בניסוי שלנו השתמשנו בתחתי (Bottom ash), המהווה 10%-15% מכלל האפר. הוא נראה כחול גס וצבעו אפור כהה; גודל חלקיקיו, שהם תלכידים של הגרגרים המיקרוניים עד 10 מ"מ (כאשר כ-70% ממנו קטנים מ-2 מ"מ); משקלו המרחבי 1 טון למ"ק בקירוב וצפיפותו המרבית בין 1,200-1,500 ק"ג למ"ק.

האפר הישראלי מורכב בעיקר מסיליקה (SiO_2 40–60%) ואלומינה (Al_2O_3 18–30%) ומעט תחמוצת הברזל, מגנזיום, סידן וחומרים אחרים (יסודות רעילים בריכוזי קורט). כמו כן, האפר מכיל גם יסודות רדיואקטיביים בכמות קטנה. תכולת הפחמן הלא שרוף באפר נעה בתחום 3%-6%. לגבי תכונות פיסיקליות האפר פחם מאופיין במשקל נמוך, בחלקיקים כדוריים זעירים ובקשיות. הניסוי בוצע בשני אתרים: הר אחים ועין תות. בשני האתרים נבחנה השפעת אפר הפחם על עצי אלון מועתקים ועל שתילים גדולים. בכל אתר הועתקו 60 עצים וניטעו 60 שתילים.

אתרי הניסוי

1. **יער הר אחים:** מצפון לבקעת בית נטופה, בגובה 240 מ' מעל פני הים. שיפוע המדרון בינוני והמפנה דרום-מזרחי. ממוצע המשקעים באתר כ-600 מ"מ בשנה, והקרע בו טרה רוסה על מסלע דולומיטי של תצורת דיר חנא, קרקע עמוקה יחסית ואבנית והסלע אינו מכיל מים (הר ובנישו, 2009). הצומח המקומי באתר הוא בתה דלילה של סירה קוצנית.
2. **יער עין תות:** בגובה 200 מ' מעל פני הים, בין מחנה אליקים ואתר חגית. שיפוע מתון ובו מפנה דרומי. ממוצע משקעים כ-600 מ"מ בשנה. הקרקע רנדזינה חומה על שכבות דקות של אבן גיר וקירטון קשה של תצורת עדולם.

תכונות הקרקעות

קרקעות טרה רוסה על דולומיט מתקופת הקנומן מוגדרות לרוב כקרקע חרסיתית עד חרסית כבדה (55%-75% חרסית), כשהמינרל החרסיתי השולט הוא מונטמורילוניט. אחוז החרסית עולה עם העומק, ועומק הקרקע עולה עם הירידה במדרון (גל, 1965, קיומדיז'סקי, 1972). צבע הקרקע חום אדמדם והוא נובע משחרור תחמוצות של ברזל ואלומיניום. תחום מים זמינים כ-12%. הקרקעות חסרות גיר (>1%), בעלות אבניות נמוכה, מבנה תלכידים אגוזי עד בלוקי או רגבי. PH בסיסי קל (6.9-7.8) ומכילת חומר אורגני בין 2.5%-5%. קרקעות רנדזינה חומה על קירטון מתקופת האאוקן מאזור מנשה וסביבתו הן קרקעות רדודות, המוגדרות כקרקע חרסיתית עד חרסית כבדה או עד חרסית חולית (הר, 1998). הקרקע מכילת גיר (9%-20%) או דלת גיר (כ-1%). צבע הקרקע חום כהה עד חום אדמדם כהה או חום אפרפר. אחוז פחמן אורגני 2.4%-4.5% וקיבול קטיונים חליפים כ-80 מא"ק/ק"ג. מלבד סידן ופחמן, הקרקע מכילה בעיקר אלומיניום (7%) ברזל (5%) ומגנזיום (1%). בתמיסת הקרקע ריכוז היסודות בקרקעות אלו גבוה מאשר בטרה רוסה. הקטיונים הם בעיקר סידן, נתרן, מגנזיום ואשלגן והאניונים הם חנקן, גופרה, כלוריד, פלואוריד ומעט זרח. במין יסודות הקורט בולטים ברזל, אבץ, סטרונציום ובריום. הריכוזים הגבוהים הם לאחר הגשם הראשון. תחום המים הזמינים (משקלי) הוא 13%-19%, ולסלע הקירטון יש תרומה משמעותית נוספת של מים בנקבובי הסלע.

ה-PH של הרנדזינות החומות הינו בסיסי (7.2-7.8) (גל, 1965).

תיאור הניסויים

1. **העתקות עצים:** הניסוי בוצע בשני האתרים. בהר אחים הועתקו עצי אלון מצוי, ובעין תות הועתקו אלון התבור. בכל אתר מחצית העצים ניטעו במצע של אפר פחם ומחציתם שימשו כביקורת. אפר הפחם יושם בכמות של 1 מ"ק לעץ של אפר פחם מנופה עם 25% קומפוסט מאתר בית אלעזרי. בבור הנטיעה שגודלו 1.5×1.5 בעומק 1 מ', הונחה שכבת אפר פחם בעובי של 20 ס"מ (כחצי מ"ק). על שכבה זו הונח העץ המועתק ומסביבו פוזר עוד חצי מ"ק של אפר הפחם. מעליהם פוזרה אדמה מקומית לסגירה סופית של הבור. תוך כדי המילוי הוזרמו מים, כדי לסגור את כל כיסי האוויר, כמקובל בהעתקות עצים (הר וחוב, 2009). ב-30 עצי הביקורת ניתן קומפוסט בלבד בכל בור נטיעה בכמות של 50 ק"ג לכל עץ. כל העצים הושקו על ידי מערכת טפטוף (6 טפטפות בספיקה של 4 ליטר לשעה שמוקמו סביב העץ).
2. **שתילים גדולים (נפח שורשים 25 ליטר):** הניסוי נערך באותם אתרים, בסמוך לניסוי ההעתקות בתנאים סביבתיים דומים. ביער הר אחים כל השתילים שנבדקו היו של אלה אטלנטית, וביער עין תות ניטעו מספר מינים (ראה טבלה 2). לכל שתיל הוספו 60 ליטר אפר פחם לבור הנטיעה. האפר פוזר בעזרת מעדר, חלקו הונח מתחת לשתיל וחלקו בין השתיל ודפנות הבור. החלק העליון כוסה עם קרקע מקומית. לשתילי הביקורת ניתנו רק 8 ליטר קומפוסט ממפעל "שחם", גבעת עדה, לבור הנטיעה. ההשקיה הייתה בטפטוף (2 טפטפות בספיקה של 4 ליטר לשעה).

מועדי העתקה ומדידה: העתקה ביער עין תות נעשתה ב-19.1.2001 ויער בהר אחים ב-6.2.2012. נטיעת השתילים הגדולים נעשתה בסמוך

לחלקות ההעסקה ובוצעה זמן קצר לאחר סיום ההעסקה. המדידות נעשו בנובמבר 2012.

ניתוחים סטטיסטיים

1. **מתאם פירסון** בין טיפול אפר הפחם לחיוניות נעשה בתוכנת SPSS בין המשתנה הבינארי של אפר הפחם (אפר=1, ביקורת=0) לבין משתנה החיוניות.
2. **מבחן T** נעשה (1) לבחינת ההבדלים בהישרדות העצים המועתקים בהשוואה לביקורת (2) בחינת ההבדלים בגובה ובקוטר התחתון של השתילים הגדולים.

המדדים שנבדקו בחלקות הניסוי

1. עצים מועתקים

- א. קוטר הגזע בגובה 130 ס"מ נמדד בעזרת קליבר.
 - ב. גובה הנוף המקורי נמדד בעזרת מוט מדידה ביום ההעסקה.
 - ג. גובה הנוף בעת המדידה.
 - ד. אורך צימוח צדדי מרבי של ענפים שצמחו לאחר ההעסקה.
 - ה. אורך צימוח לגובה של ענפים שצמחו לאחר ההעסקה.
 - ו. חישוב הפרש הגובה שבין יום המדידה ליום ההעסקה.
 - ז. חישוב הפרש קוטר הנוף שבין יום המדידה ליום ההעסקה.
- בעצים מועתקים, הכוללים יותר מגזע אחד, חושב קוטר משוקלל על ידי חיבור שטחי החתך של הגזעים וחישוב הקוטר של השטח הכולל בגובה 1.3 מ' מהקרע.
- ח. חיוניות העצים אשר הוערכה כדלקמן:

מקרא חיוניות במדידות השנה הראשונה של העצים המועתקים ושתילים הגדולים (ההתייחסות לשתילים הגדולים מתחילה רק בהמשך).

0 – מת

1 – עד 1/3 מנוף העץ ירוק

2 – עד 2/3 מנוף העץ ירוק

3 – מעל 2/3 מנוף העץ ירוק

4 – מצטיין

נבחנו מתאמים r^2 ומובהקות P (בתוכנת SPSS) בין המשתנים שנמדדו לבין טיפול אפר הפחם כמשתנה בינארי (0-1).

ט. הערכת הישרדות של העצים המועתקים נעשתה בסוף השנה השלישית בהר אחים ב-30.3.15.

במדידת ההישרדות נרשמו עצים מלבליים בענפים (2), עצים מלבליים רק בבסיס הגזע (1) ועצים מתים ללא לבלוב כלל (0).

2. שתילים גדולים (נפח שורשים 25 ליטר)

השתילים גדולים במשתלת גולני (קק"ל) במכלים שנפחם הוא 25 ליטר. המצע שלהם מורכב מכבול 40%, כבול גס 20%, פרלייט מס' 4 — 20%, טוף 20% אדום וכן דשן בשחרור איטי.

הניסוי נערך בשני אתרים: ביער הר אחים באותם תנאי קרקע ואקלים שתוארו לעיל, שבו כל השתילים שנבדקו היו של אלה אטלנטית, וביער עין תות, שבו ניטעו מספר מינים (טבלה 2).

לכל שתיל הוספו 60 ליטר אפר פחם לבור הנטיעה. האפר פוזר בעזרת מעדר, חלקו הונח מתחת לשתיל וחלקו בין השתיל לדפנות הבור. החלק העליון כוסה עם קרקע מקומית. לשתילי הביקורת ניתנו רק 8 ליטר קומפוסט ממפעל "שחם", גבעת עדה, לבור הנטיעה. ההשקיה הייתה בטפטוף (2 טפטפות בספיקה של 4 ליטר לשעה). נטיעת השתילים הגדולים נעשתה בסמוך לחלקות ההעסקה ובוצעה זמן קצר לאחר סיום ההעסקה.

מדידת קוטר הגזע נעשתה עם קליבר בגובה 20 ס"מ מהקרע. מדידת הגובה נעשתה בעזרת מוט מדידה.

תוצאות ודיון

עצים מועתקים

מדידות צימוח וחיוניות נערכו בעצים המועתקים ביער הר אחים, בסוף השנה הראשונה בתאריך 14.11.2012. נמדדו מספר גזעים, קוטר הגזע, הצימוח לגובה וצימוח צד (ממוצע ומרבי) והוערכה החיוניות. בטבלה מוצגים נתונים של ממוצעי שורות בניסוי (טבלה 1).

בטבלה ניתן לראות, שנמצא מתאם מובהק שלילי בין טיפול אפר פחם לחיוניות ($p=0.011$), כלומר, תוספת אפר פחם גרמה לירידה משמעותית בחיוניות העצים (ראה פרק השיטות).

שתילים גדולים

מידות קוטר וגובה נערכו בהר אחים ב-26.11.2012 ובעין תות ב-29.11.2012 (טבלה 2).

יער הר אחים — חלקת מעקב

מס' שורה Line no.	טיפול Treatment	קוטר גזע ממוצע (ס"מ) Average sapling diameter (cm)	גובה ירוק ממוצע (מ') Average canopy height (m)	מקורי Original	צימוח מרבי צדדי (ס"מ) Max. side growth (cm)	גובה ממוצע (ס"מ) Average height (cm)	קוטר נוף ירוק (מ') canopy diameter (m)	ממוצע מקורי Original average	חיוניות Vitality
1	אפר Ash	20.8	2.4	2.4	27.9	26.3	26.7	0.4	1.8
2	ביקורת Control	13.4	2.9	2.7	39.6	43.3	9.9	6.8	2.3
3	אפר Ash	16.2	2.4	2.3	41.2	40.0	1.4	1.0	2.0
4	ביקורת Control	10.9	2.5	2.4	36.6	34.5	1.7	1.3	2.7
5	אפר Ash	24.4	3.0	2.6	38.5	44.7	2.3	2.2	3.0
6	ביקורת Control	14.0	2.4	2.5	31.1	44.2	1.3	1.1	2.5
7	פחם Coal	14.8	2.4	2.0	48.2	43.2	1.6	1.3	2.5
8	ביקורת Control	11.9	2.4	2.1	47.2	64.2	1.6	1.1	3.0
9	פחם Coal	12.9	2.4	2.4	32.1	31.3	1.3	1.9	1.7
10	ביקורת Control	11.8	2.5	2.3	30.7	32.5	1.1	1.0	2.8

טבלה 1: תוצאות המדידה בעצי אלון מצוי (*Quercus calliprinos*) מועתקים ביער הר אחים בסוף השנה הראשונה (14.11.2012).

Table 1: Measurement results of *Quercus calliprinos* trees, one year after transplantation, Har Ahim Forest.

טבלה מרכזת — תוצאות סטטיסטיות (שתילים גדולים) — מבחן T

קבוצה Group	אתר Site	מין העץ Tree	משתנה Variable	טיפול Treatment	מספר עצים N	ממוצע Average	סטיית תקן Std. Deviation	מבחן דו-צדדי sig-(2 tail)	מובהקות Significance
1	הר אחים	אלה אטלנטית	גובה	אפר Ash	30	2.101	0.33	0.715	אין מובהקות
	Har Ahim	<i>Pistacia atlantica</i>	Height	ביקורת Control	30	2.07	0.278		No significance
2	אליקים	כל העצים	גובה	אפר Ash	26	2.475	0.527	0.915	אין מובהקות
	Elyakim	All trees	Height	ביקורת Control	30	2.49	0.513		No significance
3	אליקים	אלה אטלנטית	גובה	אפר Ash	6	2.58	0.281	0.661	אין מובהקות

קבוצה	אתר	מין העץ	משתנה	טיפול	מספר עצים	ממוצע	סטיית תקן	מבחן דו-צדדי	מובהקות
Group	Site	Tree	Variable	Treatment	N	Average	Std. Deviation	sig-(2 tail)	Significance
	Elyakim	Pistacia atlantica	Height	ביקורת	6	2.42	0.207		No significance
4	אליקים	אלון תבור	גובה	אפר Ash	8	2.26	0.183	0.796	אין מובהקות
	Elyakim	Quercus itaburensis	Height	ביקורת	11	2.22	0.475		No significance
5	אליקים	אלה א"י	גובה	אפר Ash	12	2.55	0.59	0.411	אין מובהקות
	Elyakim	Pistacia palaestina	Height	ביקורת	11	2.75	0.49		No significance
6	הר אחים	אלה אטלנטית	קוטר תחתון	אפר Ash	30	27.9	5.03	0.589	אין מובהקות
	Har Ahim	Pistacia atlantica	Bottom diameter	ביקורת	30	27.33	3.36		No significance
7	אליקים	אלה אטלנטית	קוטר תחתון	אפר Ash	6	36.7	12.31	0.666	אין מובהקות
	Elyakim	Pistacia atlantica	Bottom diameter	ביקורת	6	33.8	9.411		No significance
8	אליקים	אלון תבור	קוטר תחתון	אפר Ash	8	28.1	4.3	0.432	אין מובהקות
	Elyakim	Quercus itaburensis	Bottom diameter	ביקורת	11	29.8	4.6		No significance
9	אליקים	אלה א"י	קוטר תחתון	אפר Ash	12	28.5	3.3	0.919	אין מובהקות
	Elyakim	Pistacia palaestina	Bottom diameter	ביקורת	11	28.4	3.95		No significance

טבלה 2: נתוני גובה וקוטר תחתון בניסוי השתילים הגדולים בטיפול האפר ובביקורת ותוצאות מבחן T להשוואה בין הטיפול והביקורת.

Table 2: Data table of T-test results for large seedlings.

מתקבל שבניסוי השתילים הגדולים אין הבדל מובהק בגובה ובקוטר התחתון של השתילים שטופלו באפר פחם לעומת שתילי הביקורת בשני האתרים, הר אחים ועין תות.

דיון וסיכום

מטרת המחקר הייתה לבדוק, לאור העלויות הגבוהות של העתקות עצים ונטיעת שתילים גדולים, כיצד לשפר את אחוז הקליטה של העצים ואת התפתחות העצים והשתילים. אחת האפשרויות שהוצעו לשם כך הייתה שימוש באפר פחם עם קומפוסט (30%) כמצע בבורות הנטיעה של העצים והשתילים.

לא נמצא יתרון לטיפול אפר הפחם בניסוי השתילים בקוטר ובצימוח לגובה. בעצים המועתקים, בטיפול האפר נמצאה הפחתה בחיוניות ובהשרדות. זאת, בניגוד למחקר המקדים שנעשה בקרן קימת לישראל על מדגם קטן (הר ובנישו, 2009), שמצא יתרון מובהק לעצים מועתקים שגדלו על מצע אפר פחם, שבה לידי ביטוי בצימוח צדדי רב יותר ובו נצפתה פריצת שורשים רבה יותר. ייתכן שההבדלים בתנאי הניסוי גרמו לתוצאות שונות. בניסוי 2009 המין המועתק היה אלון התבור (לעומת אלון מצוי בניסוי הנוכחי) והצומח המקומי היה יער פזר של חרוב בר, זית ואלת המסטיק, המצביע על תנאים משופרים לעומת סביבת הסירה הקוצנית בניסוי הנוכחי. התוצאות שהתקבלו כאן נמצאות בניגוד למחקר שנעשה במרכז פינלנד בעצי אורן (Hytonen & Fennica, 2003), שבו אפר עם תוספת של חנקן גרם לצמיחה רבה יותר לעומת הביקורת או לתוספת חנקן בלבד. כך גם, במחקרים בקרקעות בעייתיות (Claire & Domy, 1990), שבהם התקבלה תוספת צימוח עם תוספת האפר וכך גם במחקרים שנעשו בארץ בקרקע נתרנית ובמצע מנותק. נמצא שתוספת אפר פחם עם קומפוסט באה לידי ביטוי בעצים מפותחים יותר וגם בבלבול טוב יותר של העצים (דג וגל, 2010; חן, וינברגר, ובנישו, 2009).

מסקנה חשובה ממחקר זה, לאור ההשפעה הרחבה של האפר פחם בשילובים שונים, בתחומים רבים על הקרקע (פיזי, כימי וביולוגי) היא,

שניתן לאמץ את מסקנות החוקרים Ram ו-Masto (2014), שמאחר שישנה הטרוגניות למאפייני האפר, לסוג הקרקע ולתנאים אגרו-אקלימיים, חשוב ביותר שיישום האפר בקרקע יהיה מאוד ספציפי, בהתאם למאפייניו של האפר ולקרקע שבו הוא ניתן. מכאן ניתן להניח, שסוג הקרקע שבה נערך הניסוי, במקרה שלנו קרקעות חרסיות מסוג טרה רוסה ורנדזינה חומה, ובהקשר מסוים של מערכת הסלע-קרקע, הוא גורם שאפר הפחם אינו תורם להתפתחות העצים ואף משפיע לשלילה עד כדי תמותת עצים (בהעתקות). כמו כן, בקרקעות אלו אין יתרון לעצים, כיוון שאין מחסור ביסודות קורט, הן אינן קרקעות קלות או חומציות ואינן סובלות ממחסור בחומר אורגני. ייתכן שישנה משמעות למינון האפר בהתאמה לגודל העצים.

ייחודו של המחקר בהקשר של מחקרי אפר הפחם הוא בכך, שהוא כנראה היחיד שבו הנושא נבדק בעצים מועתקים ובקרקע חרסיתית בסיסית (בהשלמה למחקר הקודם של הר ובנישו, 2009). רוב הניסיונות באפר פחם בעולם נעשו בקרקעות בעלות נטייה חומצית (PH נמוך) ויתרונם בא לידי ביטוי בקרקעות קלות או דלות או נתרניות. ייתכן שתוספת האפר העלתה את הבסיסיות עוד יותר, דבר שהיה יכול גם להתבטא בהפחתת קליטה של מספר יסודות קורט.

מקורות

- אשל, מ. (2000). כך הפך אפר פחם מנטל לנכס. ירוק כחול לבן: ביטאון פורום המשק והכלכלה למען איכות הסביבה בישראל, 33. אתר מנהלת אפר פחם: www.coal-ash.co.il/efer.html.
- גל, מ. (1965). גזים תכונות והתפשטות של קרקעות ממוצא של סלעי פחמה בגליל העליון. עבודה לתואר דוקטור. ירושלים: הפקולטה לחקלאות ברחובות, האוניברסיטה העברית.
- דג, א. וגל, א. (2010). שימוש בקומפוסט בוצה במטעי זית לשמן. דוח לתכנית מחקר מספר 203-0699-08 יחד עם הפקולטה ברחובות ושה"מ. מינהל המחקר החקלאי גילת.
- המכון למדעי הקרקע, המים והסביבה, מרכז וולקני (2014). סדנה בינלאומית על השימוש באפר פחם בחקלאות. הקריה החקלאית בית דגן.
- הר, נ., בנישו, א., בונה, ע., בן ישי, ש., גינסבורג, פ., וינברגר, מ., ווידאן, ס. (2009). גורמים המשפיעים על הקליטה והתפתחות של עצי אלון תבור מועתקים, יער, 11: 40-32.
- הר, נ. ובנישו, א. (2009). אגף הייעור ומרחב הצפון, פס הירק. קריית חיים.
- הר, נ. (1998). מסלע וקרקע כגורם אקולוגי של תפוצה והתפתחות ביער אלון התבור באזור אלונים-שפרעם. עבודת גמר לתואר מוסמך. ירושלים: הפקולטה לחקלאות ברחובות, האוניברסיטה העברית.
- חן, י., אביעד, צ. ומגדל, א. (2003). אפיון כימי ופיזיקלי של אפר פחם תחתי ופיתוח השימוש בו כמצע לגידול צמחים (דו"ח מסכם). הפקולטה למדעי החקלאות, המזון ואיכות הסביבה, המחלקה לקרקע ומים. רחובות.
- חן, י., וינברגר, מ., בנישו, א., ולולב, ע. (ספטמבר 2009). סיור בשטח הר אחים. קק"ל, מנהלת הפחם.
- טל, ד. (2005, 25 בנובמבר). "הפתרון המושלם: אפר פחם יחליף את הטוף והכבול כמצע לגידולים" (גרסה אלקטרונית), עיתון גלובס <http://www.ios.org.il/site/newsPage.asp?id=827>
- מנהלת אפר הפחם. (2013). בוצת שפכים מיוצבת בעזרת סיד ואפר פחם מרחף להחלפת דשנים וחומרי הדברה ולטיוב קרקע בחקלאות. אפר דע, 12. http://www.coal-ash.co.il/docs/EferDa12_N-ViroLeafletNov2013.pdf
- פיין, פ. ואחרים. (2013). ייעוד במס"א ליישום חקלאי-מעקב אגרונומי וסביבתי. משרד החקלאות, מרכז וולקני.
- קיומדיסקי, ח. (1972). התנהגות המגניון בבליית סלעים קרבונטיים וסיליקטיים והשפעתו על הפדוגונה בישראל. עבודה לתואר דוקטור. ירושלים: האוניברסיטה העברית.
- Barman, S.C., Kisku, G.C., & Bhargava, S.K. (1999). Accumulation of heavy metals in vegetables, pulse and wheat grown in fly ash amended soil. *Journal of Environmental Biology*, 20 (1): 15–18.
- Chen, J. & Li, Y. (June 15–19, 2003). Amendment of fly ash to container substrates for ornamental plant production. *Coal Combustion Byproducts and Environmental Issues* (pp. 177–183). Uppsala, Sweden: Springer
- Claire, L.C. & Domy C.A. (1990). Growth and elemental content of two tree species growing on abandoned coal fly ash basins. *JEQ* (20) 3: 581–587.
- Dharmendra, K.G., Upendra, N.R., Rudra, D.T., & Masahiro, I. (2002). *Journal of Plant Research* (115), 6: 401–409. Impacts of fly-ash on soil and plant responses.
- Effects of wood, peat and coal ash fertilization on Scots pine foliar nutrient concentrations and growth on afforested former agricultural peat soils. Hytonen, J. & Fennica, S. (2003).
- International Workshop on Agricultural Coal Ash Uses, Strategy, Agronomy, Environment & Health (May 2014). Beit Dagan.
- Ram, L.C. & Masto, R.E. (2014). Fly ash for soil amelioration: A review on the influence of ash blending with inorganic and organic amendments. *Earth-Science Reviews*, 128: 52–74.
- Naveen, K., Harit, R.C., & Sharma, S.K. (2000). Effect of fly ash incorporation on soil properties of texturally variant soils. *BioSource Technology*, 75(1): 91–93.
- Yeledhalli, N.A. & Ravi, M.V. (2008). Effect of co-application of fly ash and sewage. *Asian Journal of Soil Science*, 3(1): 71–75.

מחלת כיב ושרף האורן (Pine pitch canker) הנגרמת על

ידי הפטרייה *Fusarium circinatum*

ליאור בלנק וסטנלי פרימן

המחלקה לפתולוגיה של צמחים וחקר העשבים, מרכז וולקני, בית דגן

liorb@volcani.agri.gov.il

מחלת כיב ושרף האורן (Pine pitch canker) היא מחלה קטלנית הנגרמת על ידי הפתוגן הפטרייתי *Fusarium circinatum*, התוקף מיני עצי אורן שונים. הפטרייה פוגעת בשתילים ובעצים בוגרים. הפטרייה זוהתה לראשונה בצפון קרוליינה (Hepting & Roth, 1946) ומאז התפשטה למדינות דרום-מזרח ארצות הברית ולקליפורניה, וכן ליפן, מקסיקו, דרום אפריקה וצ'ילה. באירופה, הפגיעה של הפתוגן זוהתה לראשונה רק כ-50 שנה אחר כך, במשתלה בספרד ב-2003-2004 (Landeras, Garcia, Fernández et al., 2005) ומאז הפגיעה נצפתה גם ביערות ונחשבת לבעיה רצינית בצפון ספרד. מאז הפטרייה זוהתה גם בצרפת, לפי שעה במשתלות בלבד ובפורטוגל. בנוסף לכך, הפטרייה זוהתה גם באיטליה ביער אחד ומאמצי סניטציה הצליחו כנראה להכחיד את גורם המחלה וכיום הפתוגן אינו נחשב נוכח במדינה זו. הפטרייה מהווה איום ממשי ליערות ולמשתלות אורנים באזורים שאליהם טרם חדרה. ארגון ה-European and Mediterranean Plant Protection Organization (EPPO) מגדיר את הפטרייה כפגע הסגר.

מחזור החיים של *Fusarium circinatum*

הפטרייה היא אסקומיצט המתרבה בטבע באופן אל-מיני על ידי ייצור מיקרוקונידיה ומקרוקונידיה. הנבגים נובטים בטווח רחב של טמפרטורות, החל מ-5°C, אך הטמפרטורה המיטבית היא 25°C (Inman, Kirkpatrick, Gordon et al., 2008). במעבדה, הפטרייה גדלה על מגוון של מצעים מלאכותיים, אך בטבע הצליחו לבדדה מפונדקאים חיים בלבד (Gordon, Kirkpatrick, Aegerter et al., 2006).

אפידמיולוגיה

ההדבקה של *F. circinatum*. היא דרך פצעים בעצים רגישים מכל גיל (Gordon, Kirkpatrick, Aegerter et al., 2006). אם הפצע אינו עמוק דיו כדי לאפשר לנבגים להגיע למערכת הובלת המים בתוך רקמות הפונדקאי, אזי נדרשת לחות אוויר גבוהה לנביטת הנבגים. שני סוגי הנבגים של הפטרייה מופצים על ידי התות מים, על ידי הרוח ובאמצעות חרקים שונים, שאליהם הנבגים נדבקים. בארצות הברית, לדוגמה, הנבגים בודדו מחיפושיות הקליפה (מיני *Ips* ו-*Pityophthorus*) (Storer, Wood, & Gordon, 2004). התסמין הראשון של המחלה הוא בדרך כלל התייבשות מקצות הצימוח של הענפון כלפי מטה. הפגיעה בעץ מחמירה דרך הידבקות חוזרת, המובילות להתייבשויות נרחבות בכותרת העץ. הידבקות נשנות כאלה ניכרות בברור בשל הפרשה רבה של שרף. עצים הנגועים בעוצמה רבה נחלשים והדבקה בחלקים נמוכים של הגזע עלולה להסתיים במותו של העץ (Gordon, Storer, & Wood, 2001). התפשטות המחלה ביער יכולה להיות מהירה והיא תלויה ברגישות מין האורן ובתנאים האקלימיים. בדרך כלל, כאשר המחלה מתבססת באזור מסוים, עצים רבים כבר נוגעו בפטרייה, עוד בטרם הופעת התסמינים האופייניים בעצים המדובקים. שתילים וענפים או בולי עץ שמקורם מעצים חולים, יכולים לאכלס את הפתוגן.

התפשטות המחלה בתוך היער עלולה להתרחש על ידי נבגים הנישאים על ידי הרוח, התות נבגים על ידי מי גשם או על ידי חרקים המשמשים כווקטורים של גורם המחלה (נבגים וגם חלקי תפטיר). התפשטות למרחקים גדולים צפויה בשל העברת חומר צמחי נגוע, שתילים, קרקע נגועה, זרעים או חלקי עצים לאחר כריתה או דילול, כמו גם על ידי ציפורים ויונקים. ידוע, שהפתוגן זקוק לפצעים כדי להדביק את העצים (Gordon, Storer, & Wood, 2001). ככל הנראה, ההדבקה מתרחשת דרך פצעים טריים, שנוצרו על ידי חרקים המעבירים את הפתוגן (Sakamoto & Gordon, 2006). נמצא שתדירות ההדבקה דרך פצעים שנוצרו באופן מכוני בגיזום היא נמוכה (Sakamoto & Gordon, 2006; Correll, Gordon, Fox et al., 1991).

בטמפרטורות מתונות, הנבגים יכולים לשרוד במשך שנה אחת או יותר בעץ נגוע (McNee, Wood, Storer et al., 2002). הפתוגן לא שורד היטב בקרקע, אך נשאר חיוני מספיק זמן כדי שמדיום זה יחשב כמקור נגיעות אפשרי של הפתוגן (Storer, Wood, & Gordon, 2004). בנוסף לכך, הפטרייה עלולה להדביק גם שורשים (Garbelotto, Schweigkofler, & Shaw, 2007). שתילים מבוגרים מפרישים שרף בסמוך לקרקע והעלווה משתנה מירוק לצהוב, זאת בעוד ששתילים צעירים שנקטלו זמן קצר לאחר ההדבקה, בדרך כלל לא יראו סימפטומים ייחודיים (Gordon, Storer, & Wood, 2001).

פונדקאי

הפטרייה מנגעת בהצלחה כ-57 מיני אורן, ביניהם גם הארבעה השכיחים בישראל: אורן ירושלים (*Pinus halepensis*), אורן ברוטיה (*Pinus brutia*), אורן הצנובר (*Pinus pinea*) ואורן קנרי (*Pinus canariensis*) (CAB International, 2007). גם אורן מקרין (*Pinus radiata*), הנטוע בהיקפים מצומצמים בארץ, בעיקר בצפון, נמצא רגיש מאוד למחלה (Wingfield, Hammerbacher, Ganley, et al., 2008). לעומת זאת, אורן קנרי, אורן הצנובר ואורן ירושלים נמצאו כעמידים יחסית (Gordon, Okamoto, Storer et al., 1998). בסקר שנערך בקליפורניה נמצא שיעור נגיעות גבוה באורן מקרין ושיעור נמוך באופן מובהק בשלושת המינים האחרים: ענפים עם סימפטומים של המחלה נראו רק באורן מקרין (65% מהעצים) ובאורן ירושלים (9%) וסימפטומים בגזע נמצאו רק באורן מקרין (32%) (Gordon, Okamoto, Storer et al., 1998).

תפוצת המחלה

נכון לעכשיו, *F. circinatum* נחשב כפתוגן החשוב ביותר של שתילי אורנים במשתלות במספר מדינות ברחבי העולם. הרשות האירופית לבטיחות המזון (EFSA) מצאה לאחרונה, כי על פי תפוצת הפונדקאים הנוכחית באירופה ותנאי האקלים, האזורים שבסכנת התפשטות של המחלה כוללים מעל 100 מיליון דונם, מתוך כ-500 מיליון דונם של יערות אורנים באירופה (למעט רוסיה האירופית) (EFSA Panel on Plant Health, 2010). חלק משמעותי מאזורים אלו נמצא סמוך לים התיכון (בצרפת, איטליה וספרד), המהווים את מרכז תחום התפוצה הפוטנציאלי של הפתוגן (Ganley, Watt, Manning et al., 2009). מחקרים שונים הראו, כי שינויי האקלים יובילו לעלייה בשכיחות הפטרייה *F. circinatum* ולהתפשטות לאזורים חדשים (Möykkynen, Capretti, & Pukkala, 2015; Ganley et al., 2009). ממצאים אלו מתבססים בחלקם על עלייה חזויה בתדירות של אירועי אקלים קיצוניים, כגון: יובש, טמפרטורה גבוהה, תנודתיות במזג האוויר ועלייה בשכיחותן של סופות שעלולות להחליש את העץ להפוך אותו פגיע יותר למחלה.

הדברה ומניעה

כיום, אין עדיין דרכים יעילות לשלוט במחלה במשתלות וביערות. מומלצת גישה אינטגרטיבית, הכוללת הסגר, ניהול מתאים במשתלות ובחירת זנים הרגישים פחות לפתוגן. למניעת הגעת המחלה לישראל יש לפקח על מעבר זרעים וחומר צמחי שמקורו באורנים ממדינות שבהן קיימת המחלה (Wingfield, Hammerbacher, Ganley et al., 2008). אם נמצא הפתוגן במשתלה, מומלץ להחיל הסגר וסניטציה כדי למנוע את התפשטותו. החומר הצמחי הנגוע ומצע הגידול צריכים להישרף.

ביערות שבהם נגיעות המחלה נמוכה, הסרת ענפים ועצים נגועים יכולה להאט את קצב התפשטותה, אך ממשק ניהול זה נמצא כלא יעיל להכחדת המחלה, היות וחלקים אחרים בעץ או בעצים אחרים עלולים להיות נגועים ללא הצגת סימפטומים. עם זאת, אם עץ נגוע קל בלבד ונמצא מבודד יחסית מעצים נגועים אחרים, הסרת ענפים נגועים עשויה לעכב את התפתחותו של מוקד מחלה חדש. בנוסף לכך, ענפים או עצים נגועים עלולים להכיל חרקים שמעבירים את הפתוגן. גיוזם ענפים או עצים אלו והרחקתם יקטין את אוכלוסיות החרקים (McNee, Wood, Storer et al., 2002).

כיום, בקליפורניה, ממליצים כי עצים נגועים לא ייכרתו. התברר, שעצים רבים, למרות ההדבקה בפתוגן, יישארו בריאים יחסית בשל עמידות גנטית. אמנם עצים אחרים ייפגעו באופן קשה, אך לאחר זמן יתגברו על המחלה (Gordon, Storer, & Wood, 2001). כריתת עצים יכולה להיות מוצדקת בעיקר באזורים שבהם נמצאו רק מספר קטן של עצים נגועים.

תודות

לפרופ' צביקה מגדל על הערותיו בשלב כתיבת המאמר ולקבוצת FP1406 PINESTRENGTH – strategies for Pine pitch canker (management of *Gibberella circinata* in greenhouses and forests <http://www.pinestrength.eu/> COST European Cooperation in Science and Technology).

מקורות

- CAB International. (2007). *Gibberella circinata* (pitch canker). Wallingford, UK.
- Correll, J. C., Gordon, T. R., Fox, J. W., Koehler, C. S., Wood, D. L., & Schultz, M. E. (1991). Pitch canker disease in California: pathogenicity, distribution, and canker development in Monterey Pine (*Pinus radiata*). *Plant Dis.*, 75: 676–682.
- EFSA Panel on Plant Health (PLH). (2010). Risk assessment of *Gibberella circinata* for the EU territory and identification and evaluation of risk management options. *EFSA J.*, 8: 1620.
- Ganley, R. J., Watt, M. S., Manning, L., & Iturrutxa, E. (2009). A global climatic risk assessment of pitch canker disease. *Can. J. For. Res.*, 39: 2246–2256.
- Garbelotto, M., Schweigkofler, W., & Shaw, D. (2007). First report of *Fusarium circinatum*, causal agent of pitch canker disease, from the

- roots of mature Aleppo pines in California. *Plant Health Prog.*, Febr. 1–2.
- Gordon, T. R., Kirkpatrick, S. C., Aegerter, B. J., Wood, D. L., & Storer, A. J. (2006). Susceptibility of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii*) to pitch canker, caused by *Gibberella circinata* (anamorph=*Fusarium circinatum*). *Plant Pathol.*, 55: 231–237.
- Gordon, T. R., Okamoto, D., Storer, A. J., & Wood, D. L. (1998). Susceptibility of five landscape pines to pitch canker disease, caused by *Fusarium subglutinans* f. sp. pini. *HortScience*, 33: 868–871.
- Gordon, T. R., Storer, A. J., & Wood, D. L. (2001). The pitch canker epidemic in California. *Plant Dis.*, 85: 1128–1139.
- Hepting, G. H., & Roth, E. R. (1946). Pitch canker, a new disease of some southern pines. *J. For.*, 44: 742–744.
- Inman, A. R., Kirkpatrick, S. C., Gordon, T. R., & Shaw, D. V. (2008). Limiting effects of low temperature on growth and spore germination in *Gibberella circinata*, the cause of pitch canker in pine species. *Plant Dis.*, 92: 542–545.
- Landeras, E., García, P., Fernández, Y., Braña, M., Fernández-Alonso, O., Méndez-Lodos, S., et al. (2005). Outbreak of pitch canker caused by *Fusarium circinatum* on Pinus spp. in northern Spain. *Plant Dis.*, 89: 1015–1015.
- McNee, W. R., Wood, D. L., Storer, A. J., & Gordon, T. R. (2002). Incidence of the pitch canker pathogen and associated insects in intact and chipped Monterey pine branches. *Can. Entomol.*, 134: 47–58.
- Möykkynen, T., Capretti, P., & Pukkala, T. (2015). Modelling the potential spread of *Fusarium circinatum*, the causal agent of pitch canker in Europe. *Ann. For. Sci.*, 72: 169–181.
- Sakamoto, J. M., & Gordon, T. R. (2006). Factors influencing infection of mechanical wounds by *Fusarium circinatum* on Monterey pines (*Pinus radiata*). *Plant Pathol.*, 55: 130–136.
- Storer, A. J., Wood, D. L., & Gordon, T. R. (2004). Twig beetles, Pityophthorus spp.(Coleoptera: Scolytidae), as vectors of the pitch canker pathogen in California. *Can. Entomol.*, 136: 685–693.
- Wingfield, M. J., Hammerbacher, A., Ganley, R. J., Steenkamp, E. T., Gordon, T. R., Wingfield, B. D., et al. (2008). Pitch canker caused by *Fusarium circinatum* a growing threat to pine plantations and forests worldwide. *Australas. Plant Pathol.*, 37: 319–334.

בקיזור נמרץ

מחלת הכיב והשרף של האורן

עומר גולן

אנטומולוג, אגף הייעור, קק"ל

מחלת הכיב והשרף של האורן ידועה לאנשי המדור ל"הגנה על בריאות היער" באגף הייעור. ניטור המחלה מתבצע בחלקות נטועות צעירות ובמשתלות קק"ל במהלך הסיוורים השגרתיים המתקיימים עם מנהלי השטח והמשתלות. אם המחלה תופיע, אנשי המדור יפעלו נמרצות להכחדתה או לפחות לצמצום המדבק ממנה. מעבר לכך, כל יבוא של זרעים לישראל מצריך רישיון יבוא ובו פירוט הבדיקות הנדרשות לפי הנחיות "השירותים להגנת הצומח", במשרד החקלאות. זאת, על מנת לצמצם למינימום האפשרי הכנסת נגעי הסגר. בנוסף לכך, נעשה בירור באשר למלאי הזרעים הוותיקים המצוי ברשותנו ואשר נרכש ממדינות הסיכון, עוד בטרם התפרסם דבר המחלה. מאמר סקירה זה מגיש את תיאור המחלה לקוראים ועשוי לשפר את המודעות בקרב היערנים לקיומה, אף שלא ידוע על הימצאותה בישראל.

מה הופך מרחב ביוספרי למוצלח? תפיסות שונות מישראל ומן העולם

ליהי גולן, דניאל אורנשטיין, פנינה פלאוט

המסלול לתכנון ערים ואזורים, הפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, הטכניון

lihigol@gmail.com

תקציר

שמורות ביוספריות (ש"ב)¹ נועדו להתמודד עם אחת הסוגיות החשובות העומדות בפני העולם: כיצד ניתן ליישב בין שימור מגוון ביולוגי ומשאבים טבעיים ובו בזמן לאפשר שימוש בר-קיימא בהם? (UNESCO, 1995; Ishwaran & Persic, 2008). ש"ב הן מודל הכולל היבטים מרחביים, חברתיים וניהוליים, אשר פותח בעולם ובisrael בעשורים האחרונים יחד עם תפיסות של קיימות וחשיבות המגוון בכל תחומי החיים — מן המגוון הביולוגי ועד המגוון התרבותי. בעשורים האחרונים, התרחשו שינויים רבים בתפיסות הנוגעות לשימור, והעיקרי שביניהם הוא ההבנה, כי כדי לשמר משאבים סביבתיים הם אינם צריכים להיות "מוגנים" מהאנשים הגרים בסביבתם, אלא שלאנשים הללו צריך להיות חלק אינהרנטי בניהול סביבתם. מודל הש"ב הוא מהמובילים של תפיסה זו (Price, 1996). עם זאת, למרות שהש"ב קיימות עשרות שנים, מידת הצלחתן בהשגת יעדיהן נתונה לוויכוח, ורבות מהן רק נושאות את "התווית" של ש"ב ולא מיישמות את המודל בפועל (Coetzer, Witkowski, & Erasmus, 2014; Ishwaran, 2012). מאמר זה סוקר תפיסות שונות של "הצלחה" בש"ב ובוחר האם קיים פער בין נקודות מבט שונות לגבי האופן שבו השמורות צריכות לתפקד? לצורך כך, נבחנו היבטים שונים של הצלחה בש"ב, כפי שהיא נתפסת על ידי אונסק"ו, על ידי חוקרים במחקרים בינלאומיים ועל ידי אנשים אשר עסקו ועוסקים בנושא בישראל. תפיסות אלו נבחנו באמצעות סקר ספרות וניתוח ראיונות אשר התקיימו עם 21 בעלי עניין במרחבים בישראל. הממצאים מראים, כי ישנם דגשים שונים באונסק"ו, במחקר הבינלאומי ואצל בעלי העניין בישראל. עם זאת, קיימת הסכמה לגבי נושאים אופרטיביים, כמו מעורבות ציבורית, וכן לגבי יעדים נורמטיביים, כמו תועלות סביבתיות. אצל בעלי העניין בישראל, נמצא כי מודל המרחב הביוספרי (מ"ב) נתפס בקרב רוב המרואיינים ככלי מוטע שימור ולא ככלי לפיתוח חברתי וכלכלי. כל עוד פער זה מתקיים, והדגש הוא בעיקר על ההיבט הסביבתי, יהיה קשה להגיע ל"איזון הדינמי", שמבקשים לייצר במרחבים בישראל.

מילות מפתח: שמורות ביוספריות, ביקורת תקופתית, בעלי עניין.

מבוא

מדינות רבות בעולם סובלות מהרס מואץ של בתי גידול, מהידלדלות המגוון הביולוגי ומניצול יתר של משאבים מתכלים (Millennium Ecosystem Assessment, 2005). עד תחילת שנות ה-70 (של המאה הקודמת), התפיסה המקובלת בעולם לשימור בתי גידול טבעיים הייתה באמצעות שמורות טבע או פארקים לאומיים. השימור בהם היה מגביל, והפיתוח מינימלי (Batisse, 1997; אשכנזי, 1996). בעשורים האחרונים, גוברת התפיסה, שאזורים שמורים אלו אינם מספיקים לשימור ולייצוג נאות של החבלים הביו-גיאוגרפיים השונים (Stoll-Kleemann, 2005), ושכמעט לא נותרו שטחים בלתי מופרים נוספים גדולים די הצורך לשימור בלא התערבות אדם (Batisse, 1997). בנוסף לכך, התרחשו שינויים רבים בתפיסות הנוגעות לשימור, והעיקרי שביניהם הוא ההבנה, כי כדי לשמר משאבים סביבתיים הם אינם צריכים להיות "מוגנים" מהאנשים הגרים בסביבתם, אלא שלאנשים הללו צריך להיות חלק אינהרנטי בניהול סביבתם ברמה הביו-גיאוגרפית (Price, 1996). בד בבד, התגבשה התפיסה שהאדם הוא חלק מהמערכת האקולוגית, וששילוב מושכל של פיתוח הכרחי לקיימות של מערכות אדם-סביבה. בדרך זו, ניתן להגן על משאבי הטבע ועל המגוון הביולוגי טוב יותר משהגנו עליהם עד כה — כאזורים ללא התערבות אדם כלל (Batisse, 1997; Ostrom, 1990; אשכנזי, 1996).

מודל השמורות הביוספריות (ש"ב) היה בין המובילים של שינויים תפיסתיים אלו (Price, 1996). המודל מסמל את המעבר לשימור סביבתי מבוסס אדם, כלומר הכרה באדם ובאינטרסים שלו בשימור. בנוסף לכך, המודל נועד ליישב בין שימור סביבתי לבין פיתוח בר-קיימא, ולפתור קונפליקטים הנובעים משימוש במשאבים טבעיים (Coetzer, Witkowski, & Erasmus, 2014). אחד המאפיינים הייחודיים של המודל הוא שהתכנון, היישום והניהול שלו לאורך זמן, נערכים באמצעות שיתוף מגוון בעלי עניין, לרבות תושבי הקהילות המקומיות המצויים בסמוך לשמורה, קובעי מדיניות, מומחים וחוקרים. מאז שהתכנית החלה הוקמו 669 ש"ב ב-120 מדינות (UNESCO, 2016).

הגוף שפיתח את מודל הש"ב הוא תכנית אדם וביוספירה (MAB – Man And Biosphere), שנוסדה ב-1971 על ידי אונסק"ו (UNESCO – United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization). המימון המרכזי של התכנית כיום, הוא המודל של ש"ב אשר מיושם באמצעות הרשת העולמית לש"ב (WNBR – World Network of Biosphere Reserves). על מנת שאזור יוגדר כש"ב, על המדינה שבה הוא נמצא להגיש מועמדות ל-MAB. הוועדה המייעצת דנה במועמדות ומשיבה למדינה שבה ממוקמת השמורה (UNESCO, 1995).

במקור, המודל נועד להיות כלי לשיתוף פעולה בינלאומי, המטפל בבעיות ממשק בין שימור טבע, מחקר בין-תחומי וחינוך בתחום האקולוגי ובמדעי הסביבה (Ishwaran & Persic, 2008). עם הזמן, המסגרת הרעיונית של הש"ב שונתה על ידי אונסק"ו, בהתאם לניסיון אשר הצטבר בעולם, ולשינויים בפרדיגמות אצל החוקרים. הגרסה הראשונה של המודל הביוספרי פורסמה בשנת 1974, והיו לה שתי מטרות עיקריות: שימור ומחקר אקולוגי. מטרה נוספת הייתה יצירת הזדמנויות עבור חינוך והכשרה (Price, 2002).

בשנות ה-80 הורחב הרעיון של ש"ב להתמודדות עם סוגיות של פיתוח, אשר נדונו לראשונה בכנס הבינלאומי הראשון של ש"ב במינסק, בלארוס, בשנת 1983 (Price, 2002). אחת התובנות המרכזיות מהכנס הייתה, שצריך לתת יותר דגש לאזורי שיתוף פעולה וממשק בין אדם וטבע, ושכני האדם צריכים להיות חלק מהש"ב ומבנייתה (Ishwaran & Persic, 2008). הרעיון הבשיל בכנס השני של ש"ב בסביל, ספרד, בשנת 1995. מתוכו פורסמה אסטרטגיית סביל (UNESCO, 1995) אשר הגדירה את שלושת התפקידים של ש"ב (Ishwaran & Persic, 2008):

שימור: שימור מגוון תרבותי וביולוגי, לרבות שונות גנטית, מגוון מינים, מערכות אקולוגיות, ואבטחה של שירותים המספקים את המגוון הנ"ל.

פיתוח: פיתוח כלכלי ואנושי מקיים מבחינה סביבתית וחברתית ומקובל מבחינה תרבותית.

תמיכה לוגיסטית: הכלה של פרויקטים המהווים דוגמה, חינוך סביבתי, השכלה והכשרה לפיתוח בר-קיימא. השכלה, מחקר, ניטור, כרכיבים המייצרים ידע לשמורות הביוספריות (UNESCO, 1995).

החלוקה לאזורים לפי יעודים שונים הנקראת האזור (zoning) מתאפיינת בש"ב בחלוקה מרחבית לשלושה סוגי אזורים הקשורים זה בזה (ראה איור 1 לביטוי סכמתי של האזור):

אזור הגלעין/ליבה (Core area): האזור המוגן. מטרותיו הן: שמירה על מגוון ביולוגי, ניטור ופעולות אחרות בעלות השפעה סביבתית מינימלית. הליבה צריכה להיות מוגדרת ומוגנת על ידי חוק ומנהלת על ידי גוף מתאים (UNESCO, 1995, לחמן, 2008).

אזור החיץ (Buffer zone): אזור אשר לרוב מקיף או מחובר לגלעין. מותרות בו מגוון פעילויות בתנאי שהן אינן פוגעות באזור הגלעין (לחמן, 2008). למשל: חינוך סביבתי ופנאי. הפעילויות באזור החיץ קשורות לאופי המקומי של כל ש"ב ואינן מוגדרות מראש (UNESCO, 1995).

אזור המעבר (Transition area): אזור המאפשר שותפויות בין האזור הטבעי השמור לבין הקהילות מסביב (לחמן, 2008). באזור זה ניתן למצוא פעילויות שונות, כגון חקלאות והתיישבות אינטנסיבית יותר מאשר באזורי החיץ (UNESCO, 1995).

לרוב, בשמורות הביוספריות יש גוף הממוקם בשמורה המתאם את הפעילויות השונות (Stoll-Kleemann & Welp, 2008). גוף זה יכול להכיל מנהל או מתאם יחיד, העוסקים בש"ב, או מרחב פיסי שבו יש גם חוקרים, מנהלים, מתאמים, ועוד (Schultz, Duit, & Folke, 2011).

הערכת שמורות ביוספריות

הצורך בביצוע הערכות לש"ב נובע מהפער בין המודל התפיסתי שלהן לבין מימושו בפועל. ישנן שמורות רבות אשר הוכרו על ידי אונסק"ו, אך לא מיישמות את עקרונות המודל (Coetzer, Witkowski, & Erasmus, 2014; Ishwaran, 2012).

הערכה על ידי אונסק"ו

אסטרטגיית סביל כללה הוראה שעל כל ש"ב לעבור תהליך של ביקורת תקופתית אחת לעשור. הצורך בביקורת נבע מכך, שבחלק ניכר מהשמורות לא נבחן לעומק פוטנציאל היישום של עקרונות המודל, אף לא בגרסתו המוקדמת. כך, לדוגמה, במקרים רבים, לא היו די הזדמנויות לקהילות מקומיות להשתתף בקבלת החלטות ובתהליכי התכנון, ודעותיהן לא הושמעו (UNESCO, 1995; Coetzer, Witkowski, & Erasmus, 2014).

המטרה העיקרית של הוראות הביקורת של אונסק"ו היא לבחון את האפקטיביות של השמורות בהשגת שלוש המטרות (שימור, פיתוח, תמיכה לוגיסטית). הביקורת מבקשת לבחון את התפקוד, האזור, קנה המידה של השמורה ומעורבות התושבים החיים בה וסביבה.

הביקורת כוללת מספר קריטריונים, חלקם עוסקים במצב הראשוני של השמורות, כלומר, קריטריונים אשר ש"ב צריכה לעמוד בהם במעמד הכרתה, כגון: אזור הנועד לשרת את מטרות הש"ב, גודל השמורה, מערכות אקולוגיות המייצגות אזור ביו-גיאוגרפי ומנעד של התערבות אנושית. עם זאת, מרבית הקריטריונים הם אופרטיביים, העוסקים בניהול ובהפעלת השמורה, וניתן ללמוד מהם על האופן שבו אונסק"ו מודד הצלחה בשמורות אלו. ביניהם: ניהול בעל משמעות לשימור המגוון הביולוגי, פיתוח, מבנה ארגוני המותאם למעורבות והשתתפות של מגוון בעלי עניין, הכלת מנגנון ליישום, קשר עם ש"ב נוספות, וקידום המחקר, הניטור וההשכלה בשמורה (UNESCO, 1995).

לכאורה, שמורות אשר אינן עומדות בקריטריונים מודחות מהתכנית. בפועל, למרות ששמורות רבות אינן עומדות בקריטריונים אלו, אונסק"ו לא יזם הוצאה של אף שמורה מהתכנית, אלא המליץ על ביצוע שינויים הכרחיים כדי להתאימן למודל (Coetzer, Witkowski, & Erasmus, 2014). עד היום, ישנן 18 שמורות אשר עזבו מיוזמתן את התכנית עקב חוסר התאמתן למודל הש"ב והביקורת התקופתית (UNESCO, 2016).

הערכה בספרות המחקרית

הדרך שבה באונסק"ו מעריכים הצלחה של ש"ב בהערכה התקופתית מקבלת משנה תוקף במחקרים מדעיים, הבוחנים את האפקטיביות של השמורות. כך, למשל, ישנם מחקרים רבים אשר מעריכים את שיתוף הציבור בתכנון ובניהול של הש"ב, ומצאו, כי שיתוף בעלי עניין יכול לתרום ליעילות, לדיוק וללגיטימציה של השמורות (Schultz, Duit, & Folke, 2011). במחקר שבחן את המודעות והתפיסות של תושבים לגבי הש"ב, נמצא, כי רוב הקונפליקטים שהתרחשו באזור נבעו ממחסור בשיתוף קהילתי (Rao, Nautiyal, Maikhuri, & Saxena, 2003). עם זאת, ישנן ביקורות לפיהן שיתוף בעלי אינטרסים מנוגדים יכול להוביל להאטה בתהליכי קבלת החלטות ולגרום לפשרות כואבות בין שימור מגוון ביולוגי לפיתוח כלכלי (Brody, 2003). יתר על כן, עירוב בעלי עניין לא בהכרח מבטיח את תמיכתם בש"ב (Wallner, Bauer, & Hunziker, 2007).

מחקרים העוסקים בשיטות הניהול של ש"ב מצאו, כי גישות אינטגרטיביות, הרואות באדם חלק בלתי נפרד מסביבתו ומכירות בצורך

להכיל אינטרסים מקומיים ולשאוף לתמיכה ציבורית (Stoll-Kleemann, 2005) הן הגישות המתאימות לניהול ש"ב (Stoll-Kleemann & Welp, 2008). עוד נמצא, כי לניהול משותף אדפטיבי² (adaptive co-management) ולהשתתפות בעלי עניין ישנה השפעה חיובית על השגת מטרות חברתיות וכלכליות של הש"ב, ללא פגיעה במגוון הביולוגי (Schultz, Duit, & Folke, 2011).

בנוסף לכך, נמצא, כי מאפיינים מסוימים במשילות, ביניהם אוטונומיה פוליטית, שיתוף פעולה בין מוסדות והתמודדות עם קונפליקטים, תורמים להצלחה בש"ב. מידת האוטונומיה הפוליטית של הש"ב משפיעה לחיוב על יציבותה. כאשר מידת האוטונומיה נמוכה, הש"ב תצטרך, לעתים קרובות, להתאים עצמה לתנאים משתנים. כאשר מידת האוטונומיה גבוהה, ישנה סבירות גבוהה יותר שתהליכים ארוכי טווח וחוקים הנוגעים לשמורה ייושמו. שיתוף פעולה בין מוסדות מעלה את ההסתברות שלישום של מדיניות מסוימת תהינה השלכות רצויות על קידום שימור וקיימות. אחד האתגרים הנפוצים בשיתוף פעולה כזה הוא חוסר הבהירות בנוגע לחלוקת האחריות בין הגופים השונים. כאשר אלו פועלים ללא תיאום מספק, תהליכי קבלת ההחלטות מתארכים ונוצרות תכניות מתחרות (Stoll-Kleemann, Bender, Berghöfer, Bertzky et al., 2006). הדירה של אנשים מאזורים מוגנים מובילה, לעתים, לקונפליקטים בין שימור המגוון הביולוגי לבין צורכי הקהילה המקומית (Heinen, 1996). פעמים רבות אוכלוסייה מקומית מתנגדת לאזורים מוגנים בשל איבוד הזדמנויות כלכליות (Bosak, 2008). על כן, האתגר בניהול אזור מוגן מוצלח הוא פתרון קונפליקטים בדרכי שלום (Stoll-Kleemann, Bender, Berghöfer, Bertzky et al., 2006).

בנוסף למחקרים אשר עוסקים בהיבטים ניהוליים של הש"ב, ישנם מחקרים רבים העוסקים בבחינת האפקטיביות של הש"ב באמצעות התמקדות בהיבטים הסביבתיים של השמורה. על מנת לבחון את אפקטיביות השימור, לרוב משתמשים במדדים ביו-פיסיקליים שונים, כמו הכחדה של מינים מסוימים (Lu, Chen, Fu, & Liu, 2003) או שינויים בכיסוי הקרקע (Chowdhury, 2006). מטרות השימור מהווה את אחת משלוש הפונקציות של המודל, והאינדיקטורים הביו-פיסיקליים לרוב מותאמים לסוגיות הסביבתיות המקומיות בכל שמורה.

כפי שצוין לעיל, המודל של הש"ב מורכב מהיבטים מרחביים, חברתיים וניהוליים וכולל בתוכו שלוש מטרות (שימור, פיתוח ותמיכה לוגיסטית), אשר לעתים קרובות סותרות זו את זו. לכן, אין זה מפליא שכאשר בוחנים את האפקטיביות, או את מידת ההצלחה של השמורות הביוספריות, בוחנים אינדיקטורים שונים מדיסציפלינות מגוונות. ניתן לראות, כי ישנם מספר משתנים בולטים אשר נבחנים בהקשר של האפקטיביות של השמורות הביוספריות. אינדיקטורים אופרטיביים, הבוחנים את הפרקטיקה של הש"ב, כמו ניהול, היחסים בין הגורמים השונים הפועלים בה ובסביבתה, ומעורבות הציבור בה. עם זאת, ישנם מחקרים אשר בוחנים את התועלות הסביבתיות והחברתיות המתקבלות מהש"ב.

הערכת הצלחה במרחבים ביוספריים

חקרי המקרה בישראל

בישראל תוכננו שלושה מ"ב, שניים מהם הוכרו כש"ב על ידי אונסק"ו: הכרמל ורמת מנשה. אזור שפלת יהודה תוכנן כמ"ב, אך לא עבר את תהליך ההכרזה על ידי אונסק"ו. למחקר זה התווספו שני חקרי מקרה: אגמון החולה ומרחב שקמה. מרחבים אלו לא תוכננו כמ"ב, אך יש להם מאפיינים דומים, כמו אזור היוצר מדרג של שימור ויצירת מנגנון של עירוב בעלי עניין.

המרחב הראשון, אשר תוכנן בישראל, הוא הכרמל. המניע לתכנון היה שרפה גדולה שהתרחשה באזור החי-בר (בשנת 1989), אשר הובילה להקמת ועדה לשיקום הכרמל. במסגרת הוועדה התקיימה סדנה, שבה עלתה לראשונה האפשרות להקים מרחב ביוספרי (Safriel, 1997), אך הרעיון לא הבשיל לכלל מימוש. לאחר מספר שנים, בעזרת סיוע מהשר להגנת הסביבה של ממשלת גרמניה דאז, החלה ההקמה, ורשות שמורות הטבע נבחרה להוביל את התהליך אשר הסתיים בהכרה על ידי אונסק"ו בשנת 1996 (גסול, 2010; אשכנזי, 1996). מאז, המרחב הביוספרי אינו מתפקד ככזה מבחינת הניהול השוטף (שמילה-ודעי, 2014), ורוב המאמצים מתרכזים בשמירת טבע (שטרן, 2004; גסול, 2010). במהלך שנת 2014 החל המשרד להגנת הסביבה לפעול להחייאת המרחב הביוספרי בעקבות השרפה הגדולה שפרצה בכרמל בשנת 2010 והביקורת התקופתית של אונסק"ו.

מרחב שפלת יהודה נוצר מההכרה בחשיבות שימור השטחים הפתוחים ותכניות לעיבוי ההתיישבות בחלקו המזרחי (שטרן, 2004; גסול, 2010). המרחב תוכנן על פני שטח של כ-615 קמ"ר, בהם, בשונה מהחלוקה המקובלת לאזורי גלעין, חיץ ומעבר, הוגדרו אזורי גלעין שמור, גלעין מבוקר, אזור חיץ מבוקר, אזור חיץ משולב ואזורי מעבר. הדוח המסכם בנושא הוגש בשנת 2004. כיום, המרחב הוא מרחב מוצע ולא מוכרז. אמנם במידה מסוימת התכנית מהווה תכנית מנחה, אך מבחינת הממשק הסביבתי, מחקר, חינוך והסברה ומבחינה חברתית, היישום של התכנית לוקה בחסר (גסול, 2010). בדצמבר 2016, החליטה הוועדה המחוזית דרום לאשר תכנית מיתאר מקומית לשימור ולפיתוח ביוספרי מזרח לכיש בכפוף לתיקונה (תכנית מספר 305/02/6). תכנית זו חלה על חלק משטח המרחב המקורי בלבד (הוועדה המחוזית לתכנון ולבנייה מחוז הדרום, 2016).

תהליך הפיכתו של אזור המועצה האזורית מגידו למ"ב רמת מנשה החל מתכנית מתאר פארק רמת מנשה (תכנית ג/12635/2006), אשר שמה דגש על שימור ושיקום הטבע ועל תפקיד האדם בסביבתו. תכנית זו נוצרה בשותפות עם חלק מבעלי העניין. בשנת 2000, במהלך גיבוש תכנית אסטרטגית למועצה, זוהה רצון התושבים ביצירת איוון בין צורכי שימור לבין צורכי פיתוח ובשמירה על האופי הכפרי/חקלאי של המועצה (תרבות מקומית ורוח המקום). על בסיס הבנות אלו, החליטה המועצה ליזום תהליך של תכנון המרחב כמ"ב (גסול, 2010; תכנית האב למרחב הביוספרי רמת מנשה, 2007). תהליך התכנון של המ"ב כלל שיתוף ציבור אינטנסיבי (שמילה-ודעי, 2014), והמרחב אשר חופף את שטח המועצה האזורית מגידו הוכר על ידי אונסק"ו בשנת 2011 (UNESCO, 2016). מאז, ישנה מתאמת למרחב מטעם המועצה האזורית,

מתקיימות פעילויות וכן כנסים, מחקרים, דיונים ופורומים ציבוריים בנושא (אתר מ"ב רמת מנשה, 2016).

מרחב שקמה ואגמון החולה אינם מ"ב, אך כוללים מאפיינים דומים ולכן נכללו בסקירה זאת. תכנון מרחב שקמה נבע מההכרה בצורך בתכנון השימושים בשטחים הפתוחים. לצורך כך, הוקמה "מינהלת פרויקט", בשיתוף פעולה בין מספר גופים, ביניהם: מינהל התכנון, ועדות מקומיות, רשות הטבע והגנים, מינהל מקרקעי ישראל, המשרד להגנת הסביבה, קרן קימת לישראל, החברה להגנת הטבע, רשות הניקוז, ועוד (תכנית אב למרחב שקמה — חלק ב', 2004). התכנית מאופיינת במדרג של רגישויות סביבתיות וממשק בין השטחים הפתוחים והיישובים. כמו כן, היא מגדירה ועדות משנה שנועדו לקדם, לנהל ולתאם את מימוש התכנית (תמ"מ 43/14/12, 2012). כיום, המינהלת שוקלת להתחיל תהליך של הפיכת המרחב למ"ב. פרויקט אגמון החולה נועד לשקם את אדמות הכבול ולהסדיר את הניקוז מהן לכנרת, וכן לפתח תיירות טבע באזור (שחם, 1994). לאחר שאדמות אלו סבלו ממצב פסי ירוד, אשר הוביל למפגעים סביבתיים ופגיעה בחקלאות (פרויקט החולה שלב ב' — פרוגרמה, 2011), הוחלט, בשנת 1993, על ידי קרן קימת לישראל, רשות מקרקעי ישראל ומשרד החקלאות יחד עם החקלאים לפתח את אגמון החולה בחלק מהשטחים ההיסטוריים של הביצות הקדומות. קרן קימת לישראל הייתה הגוף שביצע את הפרויקט, בשיתוף בעלי עניין באזור. הפרויקט הביא לשיפור בתפוקות החקלאיות, להפחתת בזיהום מי הכנרת, והפך את מרחב האגמון למוקד תיירותי מרכזי (אתר קרן קימת לישראל, 2015). במרחב מתקיימת מינהלת אשר מייצגת מגוון בעלי עניין ומושם דגש נרחב על מחקר, ניטור ועל חינוך סביבתי.

הצלחה במרחבים ביוספריים בעיני בעלי עניין בישראל

על מנת לבחון את השאלה "כיצד נתפסת הצלחה במ"ב בעיני בעלי עניין בישראל?", נערכו 21 ראיונות עומק מובנים למחצה. שיטה זו מאפשרת למראיינים לספר את סיפורם על אודות התופעה הנחקרת בדרכם ובשפתם (שקדי, 2003). המראיינים התבקשו להגדיר הצלחה במ"ב לפי נקודת מבטם וניסיונם. הראיונות נערכו עם גורמי מפתח בתהליך התכנון של חמשת חקרי המקרה (ראה איור 2): נציגים של גופים ממשלתיים ברמה לאומית או מחוזית, נציגים של גופים סביבתיים, כמו קרן קימת לישראל ורשות הטבע והגנים, נבחרי ציבור, עובדים מקצועיים ברשויות מקומיות ואנשי מקצוע אשר עסקו בתכנון המרחבים. בחלק מהראיונות נידון יותר ממרחב אחד. מטרת הניתוח הייתה לזהות ולאפיין היבטים שונים של הצלחה במ"ב. הניתוח התבצע על ידי ניתוח תוכן של הטקסטים מתוך תמלול הראיונות. המידע מכל ראיון חולק לתמות ראשוניות ולאחר מכן קובצו מכל הראיונות קטגוריות מרכזיות. בנוסף לכך, התבצע ניתוח של השייך המקצועי של המראיינים ושל המרחב/ים שבהם היו מעורבים, כדי לבחון כיצד בעלי עניין שונים, בעלי אינטרסים וניסיון שונה, תופסים הצלחה במ"ב.

המרכיבים של הצלחה בעיני בעלי עניין בישראל

מתוך הראיונות עלו שמונה תמות מרכזיות המבטאות הצלחה במ"ב, על פי בעלי העניין בישראל. ניתן לחלק את התמות לשני נושאים עיקריים: אינדיקטורים אופרטיביים ויעדים נורמטיביים. האינדיקטורים האופרטיביים מתייחסים לנושאים, שעל פי בעלי העניין בישראל, אם הם מתקיימים, הם מעידים על הצלחה במ"ב. לדוגמה שיתוף ומעורבות ציבורית, קיום של מינהלת, ועוד. הקבוצה השנייה מתייחסת לערכים ולתועלות המתקבלות מהמ"ב, כמו תועלות ציבוריות וסביבתיות ויצירת איזון ביניהן. ניתן לראות באינדיקטורים האופרטיביים כלים, שאם ייעשה בהם שימוש, הם יאפשרו השגה של היעדים הנורמטיביים.

אינדיקטורים אופרטיביים

שיתוף, מעורבות ומודעות הציבור

מעורבות ציבורית היא נושא אשר נמצא בלב ליבו של המ"ב. המראיינים ציינו, בין היתר, שהסכמה ומעורבות של התושבים היא קריטית לקיומו של המרחב. בנוסף לכך, השיתוף והמעורבות יוצרים מחויבות למרחב, ראשית של התושבים ובעקבותיהם אצל הגופים המעורבים. מחויבות זו היא שתגן על המרחב. היבט נוסף אשר נגזר ממעורבות ציבורית ויכול להוות תוצאה שלה הוא **שינוי תודעתי** של התושבים בנוגע לאורח חייהם. הטענה המרכזית היא, שאם התושבים שינו את תפיסתם והפנימו את ערכי המ"ב, כל מערכת קבלת ההחלטות שלהם הופכת להיות מושכלת ומודעת יותר.

מאפיין זה היה דומיננטי ברוב הראיונות, בכל חקרי המקרה, ואצל בעלי תפקידים מגופים שונים. ממצא זה עלה אף אצל מראיינים ממרחבים אשר העידו, כי לא התקיים בהם תהליך מקיף של שיתוף ציבור. ניתן לראות בכך עדות ללמידת החשיבות של רתימת הקהילה המקומית להצלחת המ"ב.

מנגנון/מינהלת למרחב

היבט נוסף של הצלחה, אשר עלה בראיונות רבים, הוא קיום של מנגנון ניהולי לקבלת החלטות ופיתרון קונפליקטים בניהול המ"ב. כאשר מנגנון כזה מתקיים הוא מאפשר שיתוף, קבלת החלטות משותפות, אווירה של רצון טוב ויצירת הסכמות בין בעלי העניין השונים במרחב. מניית דבריהם של המראיינים אשר התייחסו לנושא זה נמצא, כי רובם המכריע הם בעלי תפקידים בגופים הסביבתיים (קרן קימת לישראל ורשות הטבע והגנים), אשר היו מעורבים במרחבים שפלט יהודה, מרחב שקמה ואגמון החולה. יתר על כן, חלקם ציינו, שזוהי המטרה המרכזית של מ"ב מבחינתם. ניתן לשער, כי בשונה מיער לדוגמה, המנוהל על ידי גוף יחיד, מ"ב כולל בתוכו שטחים המנוהלים על ידי גופים שונים, וזה מצריך מנגנון של שיתוף פעולה רציף בין בעלי העניין השונים. על כן, ייתכן שנציגי גופים אלו רואים במ"ב הזדמנות לניהול

מחקר וניטור

מחקר וניטור ככלי עזר לקבלת החלטות מהווים את אחת המטרות של ש"ב על פי אונסק"ו. כפי שעולה מהראיונות, הקיום שלהם לבדם אינו מספיק, וצריך להיווצר ממשק אינטגרטיבי בין מחקר לקובעי מדיניות, כדי שתהיה להם השפעה על קבלת ההחלטות. רוב המרואיינים אשר העלו את נושא המחקר והניטור היו מתפקידים שונים במ"ב רמת מנשה. ייתכן שניתן להסביר זאת בכך, שהם עברו את תהליך הצירוף לרשת הש"ב יחסית לאחרונה (2011), וזהו נושא שהוועדה מבקשת לקדם. עם זאת, כאשר נושא זה נדון בראיונות, נמצא כי הוא לא מתקיים בצורה מספקת.

יישום רציף ודינמי של התכנון

הטענה שמ"ב הוא תהליך מתמשך ולא תוצר סופי עלתה במספר ראיונות. כלומר, הדינמיות מעידה על חיים במרחב, ועל התהליך להיות המשכי ולא להיעצר בסיום התכנון. ניתן לראות בדינמיות פועל יוצא של שלושת הנושאים הקודמים, כלומר, אם יש מעורבות ציבורית ערה, מינהלת/מנגנון מתפקד, קיום והפנמה של ניטור ומחקר, אזי הדינמיות והחיות של המרחב נשמרים. טענה זאת נשמעה בעיקר בהקשר של מ"ב רמת מנשה, אך גם באגמון החולה. ניתן להסביר זאת בכך, שמרחבים אלו עברו תהליכי תכנון מאוד אינטנסיביים, תוך התמודדות עם מגוון קונפליקטים והירתמות של בעלי עניין רבים לתהליך. כיום, מרחבים אלו מתמודדים עם האתגרים של היישום והניהול של האזור ללא מסגרת מובנית של תהליך תכנוני.

היצמדות לתכנית מול גמישות

המידה שבה יש להיצמד לתכנית או לחלופין, לאפשר גמישות, שנויה במחלוקת אצל המרואיינים. הטענות בעד היצמדות לתכנית ויישומה הן, שהושקעו משאבים ומאמצים רבים ליצירת תכנית אשר קובעת את השימושים וההתנהגויות בשטח בצורה מיטבית, ועל כן, יש לשאוף ליישמה. התפיסה מנגד, המאפשרת גמישות, מתכתבת עם הסוגיה העוסקת בדינמיות. כאשר הטענה היא, שכדי לאפשר תהליכיות והתאמה לשינויים יש לייצר מנגנון שיכול להכיל שינויים אלו.

רוב התומכים בגישה של ההיצמדות לתכנית היו מעורבים בתכנון של מרחב שקמה, שאחד מתוצריו היא תכנית מתאר מחוזית חלקית. רוב הטוענים בעד גמישות היו מעורבים במ"ב רמת מנשה, ואכן נעשה שם ניסיון לאפשר גמישות מרבית, תוך היצמדות לערכי המ"ב. מתח זה, בין התפיסות, יכול לנבוע מהרב-ממדיות של מודל הש"ב, הכולל, גיסא, אזור והיבטים סטטוטוריים, ומאידך גיסא, היבטים אסטרטגיים.

יעדים נורמטיביים

איוון בין מטרות סביבתיות למטרות חברתיות וכלכליות

יצירת איוון בין שימור ופיתוח היא סוגיה מרכזית בכל תכנון ועל אחת כמה וכמה במ"ב. זהו נושא שנידון רבות בראיונות, בכל התפקידים ומכל המרחבים. עם זאת, "יצירת איוון" היא הגדרה מופשטת להצלחה במ"ב, ורבים מהמרואיינים פירטו והדגישו תועלות סביבתיות או חברתיות וכלכליות הצריכות להתקבל מהמ"ב על מנת שיחשב למוצלח.

תועלות סביבתיות

נושאים כמו שימור משאבי הטבע, המגוון הביולוגי והשטחים הפתוחים עלו בראיונות בכל המגזרים והמרחבים כמעידים על הצלחה במ"ב. ממצא זה אינו מפתיע, מכיוון שבגופים הסביבתיים ישנו אינטרס מובנה לשימור, ובשאר המגזרים נושא השימור היווה גורם מניע בהקמת המרחבים, על כן, הוא אחד מהמאפיינים הבולטים של הצלחה.

תועלות חברתיות וכלכליות

ניכר מדבריהם של חלק מהמרואיינים, שהתועלות שהציבור צריך להפיק ממ"ב עומדות בראש מעייניהם. בין התועלות הועלו נושאים, כמו תפוקות כלכליות, קהילתיות, תירות, חקלאות, שירותי מערכת אשר נמצאו כחשובים לתושבים, ועוד. בנוסף לאלה, נמצא, כי התועלות לבדן אינן מספיקות, אלא חשוב שהתושבים יהיו מודעים לקשר בין התועלות למ"ב.

רוב המרואיינים אשר התייחסו לתועלות הציבוריות הם עובדי רשויות מקומיות בכלל, ונבכרי ציבור, בפרט. ניתן לזקוף השקפה זאת לכך, שמתוקף תפקידם, מרואיינים אלו נחשפים רבות לתושבים ולצרכיהם. במרחבים שקמה ואגמון החולה הייתה התייחסות לתועלות ציבוריות גם אצל אנשי הגופים הסביבתיים. כזכור, במרחבים אלו ישנה מינהלת פעילה אשר מפגישה בין בעלי העניין השונים, ולכן מרואיינים אלו חשופים למגוון אינטרסים.

סיכום ומסקנות

מודל הש"ב הוא מורכב ורב-ממדים, וכולל רכיבים מרחביים, ניהוליים, סביבתיים וחברתיים. על כן, ההגדרות להצלחתו נעות ממשתנים אופרטיביים ליעדים נורמטיביים, ובין מדדים אקולוגיים, לחברתיים וכלכליים.

הביקורת התקופתית של אונסק"ו נועדה לבחון האם הש"ב עונה על שלוש המטרות: שימור, פיתוח ותמיכה לוגיסטית. הביקורת מורכבת בעיקר מאינדיקטורים אופרטיביים, הבדקים כיצד השמורה עומדת ביעדים אלו. בספרות המקצועית ניתן למצוא מחקרים ממגוון תחומים אשר בוחנים את האפקטיביות של הש"ב. האפקטיביות נבחנת בהיבטים נורמטיביים של שימור ותועלות סביבתיות, אך גם בהיבטים אופרטיביים, הבוחנים את הניהול, המעורבות הציבורית ואת המשילות בש"ב. הנושא של תמיכה לוגיסטית, הכולל מחקר, ניטור והיישום שלהם כמעט שלא נבחן בספרות האקדמית.

אצל בעלי העניין בישראל הצלחה נמדדת הן באינדיקטורים אופרטיביים, בדומה להערכה התקופתית של אונסק"ו ולספרות המחקרית (Lu, Chen, Fu, & Stoll-Kleemann & Welp, 2008; Schultz, Duit, & Folke, 2011), והן ביעדים נורמטיביים, בדומה לספרות האקדמית (Liu, 2003; Chowdhury, 2006). האינדיקטורים האופרטיביים, כמו שיתוף הציבור ומנגנוני ניהול של המרחב (הכוללים את היישום הרציף והדינמי של התכנית, מנגנונים לפתירת קונפליקטים, מחקר וניטור והיצמדות לתכנית לעומת גמישות) הם אלה שעל פי הראיונות, אם הם יתקיימו הם יסייעו בהגשמת הערכים של המרחב (האיוון בין שימור לפיתוח, תועלות סביבתיות ותועלות חברתיות וכלכליות). באינדיקטורים האופרטיביים נמצא, שהנושא של שיתוף ומעורבות ציבורית מהווה כמעט קונצנזוס אצל בעלי העניין בישראל, גם אצל מרואיינים אשר העידו, כי במרחב שבו היו מעורבים לא התקיים תהליך שיתוף מספק. בראיונות עלו אינדיקטורים אופרטיביים, כמו קיום של מנגנון לשיתוף פעולה ופתירת קונפליקטים ויישום רציף ודינמי של התכנון במרחב. עם זאת, הדגש על אינדיקטורים אלו השתנה על פי מרחב ושיוך ארגוני. כך, למשל, קיום מנגנון לפתירת קונפליקטים נמצא כחשוב בעיקר אצל מרואיינים המגיעים מגופים כמו קרן קימת לישראל ורשות הטבע והגנים. ניתן להסיק מכך, שהמניע המרכזי של גופים אלו בהקמת מ"ב הוא שיתוף פעולה בניהול אזורי. שיתוף פעולה זה מאפשר שימור מיטבי של הסביבה הטבעית, הן בהיבט המרחבי (בסוגיות כמו מסדרונות אקולוגיים), והן בהיבט של רתמת בעלי העניין לטובת המטרה. יישום רציף ודינמי של התכנון נמצא כחשוב בעיקר במרחבים כמו רמת מנשה ואגמון החולה, אשר עברו תהליך תכנון אינטנסיבי והיום מתמודדים עם אתגרים הקשורים ליישום ולמיסוד של הדינמיות שנוצרה בתהליך התכנון. בשונה מהספרות הבינלאומית, אך בהתאם להערכה התקופתית של אונסק"ו, בעלי העניין בישראל התייחסו להיבטים של תמיכה לוגיסטית, כמו מחקר וניטור.

ביעדים הנורמטיביים ניתן דגש רב, אצל מרואיינים מכל המרחבים ומכל הארגונים, לנושאים של איוון בין שימור לפיתוח ותועלות סביבתיות. לעומת זאת, הנושא של תועלות חברתיות וכלכליות נדון רק אצל חלק מהמרואיינים. ניתן להסיק מכך, שעל אף שמודל הש"ב נועד לאפשר פיתוח ושימור, הוא עדיין נתפס אצל רוב המרואיינים ככלי מוטה שימור, ולא ככלי לפיתוח חברתי וכלכלי. כל עוד פער זה מתקיים, והדגש הוא בעיקר על ההיבט הסביבתי, יהיה קשה להגיע ל"איוון דינמי", שאותו מבקשים לייצר במרחבים בישראל. בשלב הבא של המחקר, יבוצע ניתוח של המאפיינים התכנוניים המשפיעים על הצלחה במ"ב על פי בעלי העניין בישראל. מניתוח זה יהיה ניתן ללמוד יותר לעומק על ההבדלים בתפיסות של המרואיינים, הן לגבי הצלחה במ"ב, והן לגבי הדרך שיש לעשות והכלים שיש להשתמש בהם, על מנת להגיע להצלחה זו.

ש

מאמר זה הוא חלק מתוך עבודת דוקטורט במסלול לתכנון ערים ואזורים, בפקולטה לארכיטקטורה ובינוי ערים, בהנחיית פרופ"מ דניאל אורנשטיין ופרופ"ח פנינה פלאוט. המחקר עוסק בהשפעה של תהליך התכנון של שמורות ביוספריות על יישומן והצלחתן. המחקר נערך בסיוע לשכת המדען הראשי, הקרן הקימת לישראל.

תודות

ברצוננו להודות למרואיינים אשר הקדישו מזמנם והסכימו לחלוק אתנו את הידע שהם צברו במהלך עבודתם ולקרן קימת לישראל עבור התמיכה והסיוע במחקר.

הערות:

- 1 המונח שמורה ביוספרית (Biosphere reserve) (ש"ב) הוא המונח המקובל בעולם. עם זאת, בישראל המונח עורר התנגדות אצל תושבים שחיו בהן, ולכן מקובל המונח "מרחב ביוספרי" (מ"ב). ברשימה זו, כאשר תהיה התייחסות לישראל יהיה שימוש במונח מ"ב, וכאשר תהיה התייחסות כללית למושג, הוא ייקרא ש"ב.
- 2 ניהול משותף אדפטיבי מוגדר כתהליך שבו הסדרים מוסדיים וידע אקולוגי נבחנים ומתוקנים בתהליך דינמי, מתמשך, שבו יש למידה תוך כדי עשייה (Folke, Hahn, Olsson, & Norberg, 2005).

מקורות

אשכנזי, ש. (1996). ש"ב — משמעותן, ערכן בשמירת הטבע ותפקודן. אקולוגיה וסביבה, 3(4): 207-217.

- גסול, ד. (2010). הניסיון הישראלי בתכנון מ"ב. תכנית אב לאיתור מ"ב — דו"ח שלב א. משרד הפנים, ירושלים: 42-73.
- לחמן, א. (2008). מדריך למרחבים ביוספריים בישראל. הוועד הישראלי לאונסקו, ועדת האדם והביוספרה הישראלית של אונסקו (MAB).
- שחם ג'. (1994). פרויקט החולה — דינמיקה של התערבות האדם בטבע. אקולוגיה וסביבה, 1: 221-224.
- שטרן, א. (2004). התוויה ותכנון של ש"ב בישראל. הרשת הגיאוגרפית, 1(1): 2-15.
- שמילה-דודי, א. (2014). שיתוף הציבור וערוב בעלי עניין בהקמה ובניהול של המרחבים הביוספריים בישראל: מחקר הערכה. חיפה: שקדי, א. (2003). מילים המנסות לגעת, מחקר איכותני — תיאוריה ויישום. אוניברסיטת תל אביב: רמות, תל אביב.
- Millenium Ecosystem Assessment. (2005). *Ecosystems and Human Well-Being*. Washington D.C.: World Resources Institute.
- Batisse, M. (1997). Biosphere reserves: A challenge for biodiversity conservation & regional development. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 39(5): 6-33.
- Bosak, K. (2008). Nature, conflict and biodiversity conservation in the Nanda Devi Biosphere Reserve. *Conservation and Society*, 6(3): 211-224.
- Brody, S.D. (2003). Measuring the effects of stakeholder participation on the quality of local plans based on the principles of collaborative ecosystem management. *Journal of Planning Education and Research*, 22(4): 407-419.
- Chowdhury, R. R. (2006). Landscape change in the Calakmul Biosphere Reserve, Mexico: Modeling the driving forces of smallholder deforestation in land parcels. *Applied Geography*, 26(2): 129-152.
- Coetzer, K.L., Witkowski, E.T., & Erasmus, B.F. (2014). Reviewing Biosphere Reserves globally: Effective conservation action or bureaucratic label? *Biological Reviews*, 89(1): 82-104.
- Folke, C., Hahn, T., Olsson, P., & Norberg, J. (2005). Adaptive governance of social-ecological systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.* 30: 441-473.
- Heinen, J.T. (1996). Human behavior, incentives, and protected area management. *Conservation Biology*, 10: 681-684.
- Ishwaran, N. (2012). Science in intergovernmental environmental relations: 40 years of UNESCO's Man and the Biosphere (MAB) Programme and its future. *Environmental Development*, 1: 91-101.
- Ishwaran, N. & Persic, A. (2008). Concept and practice: The case of UNESCO biosphere reserves. *Int. J. Environment and Sustainable Development*, 7(2): 118-131.
- Lu, Y., Chen, L., Fu, B., & Liu, S. (2003). A framework for evaluating the effectiveness of protected areas: The case of Wolong Biosphere Reserve. *Landscape and Urban Planning*, 63(4): 213-223.
- Ostrom, E. (1990). *Governing the commons: The evolution of institutions for collective action*. Cambridge university press.
- Price, M.F. (1996). People in biosphere reserves: an evolving concept. *Society & Natural Resources: An International Journal*, 9(6): 645-654.
- Price, M.F. (2002). The periodic review of biosphere reserves: A mechanism to foster sites of excellence for conservation and sustainable development. *Environmental Science & Policy*, 5(1): 13-18.
- Rao, K.S., Nautiyal, S., Maikhuri, R.K., & Saxena, K.G. (2003). Local peoples knowledge, aptitude and perceptions of planning and management issues in Nanda Devi Biosphere Reserve, India. *Environmental Management*, 31(2): 168-181.
- Safriel, U.N. (1997). The Carmel fire and its conservation repercussions. *International Journal of Wildland Fire*, 7(4): 277-284.
- Schultz, L., Duit, A., & Folke, C. (2011). Participation, adaptive co-management, and management performance in the world network of biosphere reserves. *World Development*, 39(4): 662-671.
- Stoll-Kleemann, S. (2005). Voices for biodiversity management in the 21st century. *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 47(10): 24-36.
- Stoll-Kleemann, S., & Welp, M. (2008). Participatory and integrated management of biosphere reserves: Lessons from case studies and a global survey. *GAIA – Ecological Perspectives for Science and Society*, 17(1): 161-168.
- Stoll-Kleemann, S., Bender, S., Berghöfer, A., Bertzky, M., Fritz-Vietta, N., Schliep, R., & Thierfelder, B. (2006). Linking governance and management perspectives with conservation success in protected areas and biosphere reserves. *Perspectives on Biodiversity Governance and Management*, 1, 40.
- UNESCO Biosphere Reserves. (1995). *The Seville strategy and the statutory framework of the world network*. Paris, France: UNESCO.
- Wallner, A., Bauer, N., & Hunziker, M. (2007). Perceptions and evaluations of biosphere reserves. *Landscape and Urban Planning*, 83(2): 104-114.

אינטרנט

- UNESCO. (2016). Biosphere Reserves. Retrieved at 25.8.2016. from: <http://www.unesco.org/new/en/natural-sciences/environment/ecological-sciences/biosphere-reserves/>
- אתר מ"ב רמת מנשה. (2014). אודות המ"ב. נדלה בתאריך 12.2.2015. מתוך: <http://www.biosphere.org.il/>
- אתר קרן קימת לישראל. (2015). שיקום עמק החולה. נדלה בתאריך 15.5.2015. מתוך: <http://www.kkl.org.il/water-activity/hula-valley-rehabilitation>
- הוועדה המחוזית לתכנון ולבנייה מחוז הדרום. (2016). ועדת משנה להתנגדויות — מסמך החלטות ישיבה מספר 2016016. נדלה בתאריך 14.12.2016. מתוך: <http://mavat.moin.gov.il/MavatPS/Forms/SV4.aspx?tid=4>
- תכנית אב למרחב שקמה, חלק ב'. (2004). הגדרות תכנוניות וחלופות קונצפטואליות. נדלה בתאריך 15.5.2016. מתוך: <http://www.moin.gov.il/OfficeUnits/PlanningAdministration/masterplan/Documents/tmm4.14.43.02.pdf>
- תכנית האב למרחב ביוספרי רמת מנשה. (2007). תמצית ניתוח מצב קיים — דילמות וסוגיות עיקריות. נדלה בתאריך 11.12.2016. מתוך: http://www.biosphere.org.il/cgi-webaxy/sal/sal.pl?lang=he&ID=904358_biosphere_megido&act=view&dbid=pages&dataid=exist1.pdf&f

בקיצור נמרץ

קידום תכנית אדם וביוספרה על ידי קק"ל

הדס בשן

בשנת 2014 יזמה ועדת איכות הסביבה וקיימות של דירקטוריון קק"ל מהלך לקידום תכנית אדם וביוספרה בארץ במטרה לקדם פיתוח בר-קיימא בשטחים פתוחים.

מרחבים ביוספריים, המוקמים על פי תכנית אדם וביוספרה, הם אזורים שבהם הקהילה ומנהיגיה בוחרים לנהל אורח חיים אחראי, לקדם קבלת החלטות בשיתוף כל בעלי העניין, לקדם פיתוח בר-קיימא, לטפח ערכים ותרבות מקומית ולשמור על ערכי טבע וסביבה מקומיים. בארץ פועלים שני מרחבים ביוספריים: מרחב ביוספרי מגידו, שקק"ל יזמה והייתה שותפה בכירה בתכנונו ובהקמתו, ומרחב ביוספרי כרמל.

במהלך שלוש השנים האחרונות עסקנו ביצירת שיתוף עם ארגונים ומשרדי ממשלה, נפגשנו עם שורה ארוכה של ראשי רשויות ופעילים חברתיים במטרה לקדם את התכנית ולאתר אזורים המעוניינים בתמיכה במהלך הקמת מרחב ביוספרי. כך, למשל, תמכנו בקיום סדנאות מקצועיות, לרבות סדנה בינלאומית עם המועצה האזורית מגידו וימי עיון לעובדי קק"ל. כמו כן, תמכנו בבדיקת היתכנות להקמת מרחב ביוספרי באגן נחל השקמה.

אנו שותפים בוועדת אדם וביוספרה בישראל ובוועדת ההיגוי למדריך להקמת מרחבים ביוספריים בישראל, שמוכיל מינהל התכנון. אנו גם שותפים ליוזמה להקמת פורום ארצי של אזורים מקיימים לתמיכה, ללמידה וליצירת שיתופי פעולה. פעילות קק"ל לקידום המרחבים הביוספריים, ביוזמת הוועדה לאיכות הסביבה וקיימות של דירקטוריון קק"ל, תומכת בשמירתם של יערות קק"ל ושטחים פתוחים בישראל; מחזקת ומעצימה מהלכים של פיתוח יערות קהילתיים על ידי קק"ל ומעמידה את הארגון בחזית העשייה הסביבתית.

הרחקת ביספנול-A על ידי צמחי אגן ירוק

ערן בינימיני¹, רגינה בורוכוב-שרפוב¹, יצחק בילקיס², אלישע תל-אור¹

¹ המכון למדעי הצמח וגנטיקה בחקלאות,

הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים

² המכון לביוכימיה ומדעי המזון ותזונה, הפקולטה לחקלאות,

מזון וסביבה ע"ש רוברט ה. סמית, האוניברסיטה העברית בירושלים

תקציר

בעידן המודרני ישנה עלייה חדה בכמות ובמגוון המזהמים אשר מגיעים לסביבה. מזהמים אלו הם בעלי יכולת לפגוע בסביבה וביצורים חיים. bisphenol-A (BPA) הוא חומר ממקור אנתרופוגני ובעל יכולת לשיבוש מערכת אנדוקרינית (הורמונלית) ביצורים חיים. כיוון ש-BPA מגיע לסביבה באופן ישיר משפכי תעשיית הפלסטיק ובעקיפין דרך השפכים הביתיים, לכן יש חשיבות לצמצום הגעתו לסביבה.

במחקר זה נבחנה מערכת לטיפול במי קולחין. מערכת זו משפרת את איכות המים על ידי צמחים וחיידקים. גומא הפרקים וסמר חד נבחרו לעבודה במעבדה להרחקת המזהם BPA. רוב הניסויים התבצעו במערכת הידרופונית, על מנת לבחון את יכולת הצמחים בהרחקת המזהם. כמו כן אופיינו גם תוצרי הפירוק של ביספנול-A בתמיסה, על מנת לאשש פירוק החומר וסילוק הסכנה הטמונה בו לסביבה. נמצא קשר ישיר בין פעילות חיידקים בשורשי צמחים לפירוק BPA. נצפה הבדל משמעותי בקצב פירוק BPA בין גומא הפרקים לסמר חד. לדוגמה, בתמיסה

המכילה חל"ב BPA 200, פירוק החומר התרחש תוך יום אחד על ידי גומא הפרקים לעומת שלושה ימים על ידי סמר חד. גומא הפרקים הרחיק BPA מתמיסות בעלות ריכוזים בטווח 100 חל"ב-10 חל"מ ביעילות רבה. בתמיסות בריכוזים של עד 2 חל"מ, כושר ההרחקה עמד על 100% בתוך 24 עד 72 שעות, ואילו בריכוזים 10-3 חל"מ ההרחקה עמדה על כ-95% תוך 24 עד 96 שעות. תוצר הפירוק העיקרי של BPA שנמצא היה BPA-3-OH. תוצר זה פי 10 פחות פעיל מהחומר המקורי. במהלך המחקר זוהה, כי *Bacillus megaterium*, חיידק שורשי גומא הפרקים מסייע בהרחקת BPA. לסיכום, נמצא, כי גומא הפרקים הינו מועמד טוב להרחקת BPA ממים במערכת ההידרופונית מלאכותית המדמה את האגן הירוק.

מילות מפתח: ביספנול-A (BPA), גומא הפרקים, סמר חד, חיידקי שורש, *Bacillus megaterium*, מערכת ההידרופונית, אגן ירוק.

מבוא

BPA הוא חומר כימי, המיוצר בכמות גדולה בתעשייה, ונצרך בעיקר בתור מונומר (אבן יסוד) בייצור חומרי פלסטיק שונים, המשמשים למוצרים מגוונים, כולל פוליקרבונט ושרף אפוקסי. החומרים הפלסטיים האלה משמשים לאריזות של מזון ושתייה, ציפוי של פחיות שימורים וכדומה.

BPA מוצא את דרכו אל גופי מים וקרע בתהליכי הייצור, זליגה ממוצרי פלסטיק שונים או על ידי פירוק פיסיקלי או כימי של המוצרים. לפיכך, האדם והחי נחשפים בצורה מתמדת ומתמשכת ל-BPA, הגורם לשיבוש פעילות ההורמונלית של צורות חיים שונות. מקור החומר הוא מהתעשייה, ריכוזים גבוהים משתחררים בעיקר מתעשיית הפלסטיק, מתעשיית נייר ומתשטיפים ממטמנות (Yamamoto, Yashura, Shirishi et al., 2001).

הרעילות של BPA נחקרה באופן נרחב על ידי התעשייה הכימית ועל ידי קבוצות מחקר ממשלתיות ואקדמיות. BPA שייך לקבוצה של חומרים המשבשים פעילות אנדוקרינית — EDC's (Endocrine Disrupting compounds). EDC's פוגעים בפעילות ההורמונלית של יונקים, של בני אדם, ושל דגים ודו-חיים, והם בעלי פוטנציאל להזיק לפעילות התקנית של יצורים חיים שונים. ככל שצורת החיים פחות מפותחת ובדרך כלל קטנה יותר, כך היא גם פגיעה יותר (Vandenberg, Hauser, Marcus et al., 2007). ממצאי מחקר של המכון הלאומי למזון בדנמרק גילו השפעה של חשיפה לריכוזים נמוכים של BPA בחולדות ($25\mu\text{g/kg/day}$) במהלך ההיריון ולאחר הלידה. בזכרים, נמצאה ירידה בספירת הזרע (Hass, Christiansen, Boberg et al., 2016). נמצא כי ריכוזים גבוהים של BPA בסביבה משפיעים על זוויגיות של דגים וחסרי חוליות (Oehlmann, Schulte-Oehlmann, Kloas et al., 2009). בבני אדם, BPA מוריד כמות ההורמונים החיוניים אצל נשים הרות ותינוקות ממין זכר. מסיבות אלה, חיוני לצמצם מקורות לזיהום ב-BPA, המצויים בשפכים ביתיים ותעשייתיים.

בעולם המודרני, מי שפכים ביתיים ותעשייתיים עוברים טיפול במתקן טיפול שפכים (מט"ש) לפני הזרמתם לסביבה. הטיפול במט"ש כולל מספר שלבים: טיפול קדם, טיפול ראשוני, טיפול שניוני וחיתוי או החדרה דרך שכבות חול למי תהום (SAT) (Arye, Dror, & Berkowitz, 2011).

במקרים מסוימים, מי קולחין עוברים טיפול שלישוני. בטיפול זה מסלקים ממים מטופלים מיקרו-מזהמים ושאריות של חומרים כימיים. הניקוי מתבצע על ידי מיקרואורגניזמים וצמחים בבריכות המיועדות לכך.

בהוד השרון הוקם אגן ירוק מלאכותי, אשר מוזן על ידי קולחים שניוניים ממט"ש כפר סבא וממט"ש הוד השרון, והמים המטופלים מוזרמים לאפיק הירקון. כחלק מהטיפול הביולוגי של המים באגן הירוק נעשה שימוש בצמחים הגדלים על מצע חצץ (תמונה 1). האגן הירוק בהוד השרון נבנה כדי לטפל בשאריות מקרו-מזהמים (חומר אורגני, חנקנים וזרחנים) ובמיקרו-מזהמים, כמו תרכובות פרמה, הורמונים ומזהמי תעשייה.

אגן ירוק הוא נישא אקולוגית המאופיינת בשטח אדמה רווי במים באופן קבוע או עונתי, דבר המעניק לו מאפיינים ייחודיים מבתי גידול יבשים. השטח יכול להיות רווי במים מתוקים, מלוחים או מליחים. אחד המאפיינים הבולטים של אגן ירוק הוא הצמחייה הייחודית שלו, אשר יכולה לגדול בקרקע רוויה במים, כלומר בתנאים של מחסור בחמצן מומס (תנאים אנאירוביים). צמחיית האגנים הירוקים מורכבת מסוגים שונים של צמחים אשר גדלים בתוך המים או ליד מקור המים. צמחים באגן הירוק ניזונים ממיקרו וממקרו אלמנטים, אשר נכנסים לאגן על ידי המים שבשפכים. צמחים קולטים ומפרקים מזהמים שונים המופיעים במים על ידי השורשים וחיידקי סביבת השורש (Keddy, 2010). בריזוספרה ישנו שיתוף פעולה בין החיידקים לצמח כאשר סביבה זו עשירה בחומרים שעוזרים לשגשוג החיידקים (Helal & Sauerbeck, 1989).

מחקרים שונים מציגים את עושר החיידקים בריזוספרה באגנים ירוקים, חיידקים אלו משחקים תפקיד ראשי בהרחקת מזהמים מהמים. מיקרואורגניזמים משגשים בריזוספרה כיוון שהיא סביבה עשירה בחומרים המופרשים על ידי הצמח (Stottmeister, Wiebner, Kusch et al., 2003).

סביבה עשירה בחיידקים סביב שורשי הצמח מושכת מיקרואורגניזמים אחרים, כגון: פרוטוזואות ונמטודות אשר ניזונים מהם, דבר היוצר מעגל של מזון. כמו כן, שטח הפנים של שורשי הצמח רחב יותר מחצץ, דבר המוביל למספר חיידקים גבוה יותר ליחידת שטח (Williams, Mitsch, & Gosselink, 2007).

לצורך המחקר נבחרו שני צמחים, הנפוצים באופן טבעי בסביבת נחל הירקון ושנשתלו באגן הירוק הוד השרון.

1. גומא הפרקים — *Cyperus articulatus* L.

גומא הפרקים (תמונה 2) הוא עשב רב-שנתי ממשפחת הגמאים כאשר בניגוד לרוב בני משפחתו אינו מכיל עלים בבסיסו ונדנים. גומא הפרקים מציג מופע של גבעולים ארוכים וחלקים ללא עלים, בעל תפוצה טרופית, ובחודשי אפריל עד ספטמבר פורח בקצהו בתפרחת כמעין סוכך עם פרחים רבים. צמחים אלו הם דו-מיניים, אך גם מתרבים על ידי שלוחות. הצמח מוגדר כנדיר בארץ עקב פגיעה בבתי הגידול הטבעיים שלו (פינברון-דותן ודנין, 1998).

2. סמר חד — *Juncus acutus*

סמר חד (תמונה 3) הוא עשב רב-שנתי ממשפחת הסמריים, בעל גבעול חסר עלים וראשו דוקרני. גדל בצברים עגולים וצפופים בקוטר של עד מטר, ולגובה של עד מטר וחצי. בעל תפוצה ים-תיכונית ומערב אירנו-טורני, נפוץ בחלקים שונים של הארץ מביצות ועד ערבות הירדן ומואב. פורח בין אפריל לספטמבר (פינברון-דותן ודנין, 1998).

מטרת המחקר

מטרת המחקר הייתה לבחון מה היא תרומתם של צמחי אגן ירוק, גומא הפרקים וסמר חד וחיידקי סביבת השורש בפירוק BPA; לאפיין ולכמת את יכולת ההרחקה של BPA על ידי הצמחים גומא הפרקים וסמר חד; להבין מהי התרומה של חיידקי סביבת שורשי הצמחים; לבחון שימוש בצמחים בתנאי שטח באגנים ירוקים, הן כטיפול שלישוני, כנעשה בהוד השרון וכמודל שניוני, בגופי מים נוספים שיתגלו כמכילי BPA מפעילות בתעשייה.

שיטות וחומרים

גידול צמחים

הצמחים גודלו בחממה בפקולטה לחקלאות.

הכנת תמיסות

תמיסות מודל הוכנו על בסיס מים מזוקקים, וביספנול-A מסחרי (SIGMA).

בידוד חיידקים

כדי לבדוד חיידקי ריזוספרה של שורשי גומא הפרקים נלקח 1 גרם שורשים והוכנס לתוך מבחנה המכילה 100 מ"ל דטרגנט TWEEN 0.5%. התרחיף המתקבל נמהל ונזרע על גבי מצע גידול LB בשיטת זריעות בידוד. המושבות שהתקבלו נשלחו לזיהוי למעבדות HY-LAB.

גידול חיידקים

חיידקים גודלו על גבי קרקע מזון LB בריכוזים שונים של מזינים, בטמפרטורה של 28 מעלות צלזיוס בטלטול איטי.

שיטות האנליזה

זיהוי ריכוז ביספנול-A בדגימות נעשה על ידי כרומטוגרפיה נוזלית (HPLC), עם קולונה RP 18, ומריץ אצטוניטריל ומים ביחס 50/50, ובקצב הזרימה של 1 מ"ל לדקה. אורך גל הפליטה היה 305 nm.

ממצאי המחקר

המחקר בוצע במערכת מודל הידרופונית בפקולטה לחקלאות.

התחלנו במחקר במקביל באגן הירוק בהוד השרון ובחממה בפקולטה לחקלאות. ניסויים בוצעו בחממה, בפקולטה לחקלאות, במערכת הידרופונית של 10 ליטר, המכילים חצץ וצמחים, בדומה למערכת טיפול במים באגן הירוק בהוד השרון. השורשים של הצמחים נטבלו בתמיסת המזהם BPA, וקביעת ריכוזו בתמיסה נעשתה בעזרת HPLC. תמיסות מטופלות הראו ירידה בריכוז מזהם מ-100 חל"ב ל-7 חל"ב, ומ-100 חל"ב ל-63 חל"ב תוך שלושה ימים, בטיפול על ידי גומא הפרקים וסמר חד בהתאמה, כמתואר באיור 1. בחזרות על הניסויים אלו הצמחים גומא הפרקים וסמר חד נמצאו מתאימים להרחקה מהירה של BPA. הממצאים הראו שגומא הפרקים הוא הצמח היעיל ביותר להרחקת BPA במערכת הידרופונית שנבחנה במעבדה.

במקביל נבדק פירוק BPA בחצץ בלבד מהאגן הירוק כדי לבחון פעילות חיידקים. במערכות הללו נבדקה הרחקת BPA מתמיסות בריכוזים 100, 200, 50 חל"ב עד 95% מהמזהם הורחק בתנאים הללו.

נבחנה השפעת אור וחושך על הרחקת BPA מתמיסה בריכוז מזהם 200 חל"ב בגומא פרקים וסמר חד. הניסוי בוצע במערכת הידרופונית. טיפול חושך בוצע על ידי כיסוי הצמחים בניילון שחור. בניסויים אלה לא נצפה הבדל בקצב הרחקת ביספנול-A בין תנאי חושך ואור, בגומא

הפרקים ובסמך חד כל החומר נעלם לאחר שלושה ימים.

באופן דומה נבחנו השפעת גודל הצמח, וריכוז המזהם ההתחלתי בתמיסה המטופלת. התוצאות שקיבלנו מראות שככל שהצמח גדול יותר כך הוא מרחיק את ה-BPA בצורה מהירה יותר, וככל שריכוז המזהם עולה, כך קצב ההיעלמות של ה-BPA בתמיסה עולה. נערכו ניסויים לקביעת תוצרי פירוק של BPA בתהליך הרחקה על ידי הצמח גומא הפרקים, בריכוז המזהם 10, 5 חל"מ. בנוסף לספיחה פסיבית של BPA מתרחשים תהליכי הידרוליזה וחמצון של BPA על ידי אנזימים של הצמח. נמצאו כמה תוצרי פירוק של BPA, כאשר העיקרי ביניהם הוא 3-OH-BPA. שאר תוצרי הפירוק של ה-BPA התקבלו בריכוזים נמוכים, בהשוואה לריכוז 3-OH-BPA, ולכן ניתן להסיק, כי או שהזיקה שלהם לתגובה נמוכה יותר מתוצר הפירוק העיקרי, או שהם לא יציבים ומתפרקים למולקולות קטנות יותר בזמן קצר, וקשה לעקוב אחריהם תוך כדי תהליך ההרחקה. בהמשך הוקמה מערכת הידרופונית בהיקף PILOT במיכלים בנפח של 20 ליטר, כמתואר בתמונה 4. בניסויים שנערכו נבחנו ההשפעות של תנאי חושך, חיידקי ריזוספרה, והשפעת ריכוז המזהם בתמיסה על הרחקת BPA על ידי גומא הפרקים.

כמו בניסויים בהיקף קטן ראינו שאין הבדל משמעותי בין תנאי אור וחושך כבושר ההרחקה של BPA בריכוז של 1 חל"מ, אבל נצפה הבדל בהרחקה כאשר העלינו את ריכוז המזהם ל-2 חל"מ. כך צמח בתנאי אור הרחיק מזהם תוך 32 שעות, לעומת 72 שעות בתנאי חושך. ריכוז המזהם בתמיסה מגביר את קצב ההרחקה גם בהיקף גדול יותר, כלומר ככל שריכוזו גבוה יותר כך קצב היעלמות המזהם מהיר יותר. כמו כן, תוצאות המחקר הראו, שחיידקי ריזוספרה של גומא הפרקים משפיעים על פירוק והרחקת BPA. בנוכחות חיידקים של גומא הפרקים המזהם הורחק תוך 48 שעות לעומת גומא הפרקים ללא חיידקים, שהרחיק מזהם עד 300 חל"ב לאחר 72 שעות במערכת הידרופונית, כאשר הריכוז ההתחלתי היה 2,500 חל"ב (איור 2). חיידקי ריזוספרה של שורשי גומא הפרקים עוכבו בעזרת האנטיביוטיקה אוגמנטין.

במחקר גם נבחן כושר ההרחקה של BPA על ידי צמח גומא הפרקים עם וכלי עלווה, שנעשה בתמיסות בריכוז המזהם 1,2,3,4 חל"מ. התוצאות הראו, כי אין הבדל ב-BPA בריכוזי תמיסות 1,2,3 חל"מ, ויש הבדל בריכוז הגבוה ביותר שנבדק — 4 חל"מ. העשרה בחיידקי ריזוספרה שיפרה את כושר ההרחקה של BPA ידי הצמח השלם מתמיסות בריכוזים 1,2,3,4 חל"מ. בנוסף לכך, כדי להבין האם מערכת הידרופונית יכולה לעבוד באופן רציף, נערך ניסוי שבו מוסיפים מנה שנייה של מזהם לאחר 96 שעות לתוך המערכת ובודקים איך הצמחים מתמודדים. התמיסות מטופלות הכילו ריכוז מזהם התחלתי 1,2,3,4 חל"מ. ראינו שהמערכת הרחיקה בצורה יעילה את המזהם, והגבירה את קצב הפירוק. לדוגמה, בריכוז של 1 חל"מ כל המזהם הורחק לאחר 96 שעות במנה ראשונה, ולאחר 24 שעות במנה השנייה. מכאן ניתן להסיק, שהצמח מתאים את עצמו לנוכחות המזהם בסביבה, ועשה אינדוקציה לשיפור תהליך אקטיבי של הרחקה או פירוק BPA (איור 3).

בחלק שני של המחקר החוקרים בודדו ובחנו חיידקי שורשי גומא הפרקים.

החיידקים בודדו משורש של גומא הפרקים, ונורעו על גבי צלחות פטרי במעבדה. הצלחות נשלחו למעבדות חי לזיהוי. החיידק שזוהה הוא *Bacillus megaterium* (תמונה 5).

בדקנו האם החיידק יכול להרחיק את ה-BPA מריכוזים 2,4 חל"מ. ראינו שחיידק מרחיק מזהם בצורה יעילה ולאחר 8 שעות רוב כמות המזהם נעלמה בשני הריכוזים.

בנוסף בחנו האם החיידק יכול להשתמש ב-BPA כמקור פחמן. לשם כך הוגבל ריכוז מצע גידול ברכיבי מזון של 20% ול-10% מהכמות הרגילה במצע LB. ניסויים אלה נעשו בתמיסות המכילות 4,2 חל"מ של BPA. ב-20% LB הורחק BPA בקצב מהיר ביותר לשני הריכוזים שנבדקו (איור 4).

דיון ומסקנות

בכל הנסקר בפרקי העבודה השונים נמצא, שלגומא הפרקים כושר הרחקה גבוה של BPA במערכת הידרופונית המוצבת בחממה של הפקולטה לחקלאות. תכונות אלה הופכות את גומא הפרקים לצמח יעיל לשימוש באגן הירוק בהוד השרון. רכיב נוסף המקנה יתרון לגומא הפרקים הוא חיידק ריזוספרה — *Bacillus megaterium*, שהראה את יעילותו בפירוק ובהרחקה של BPA. הדבר נובע מכך, שהצמח גומא הפרקים יחד עם החיידק יוצרים אסוציאציה מעולה להרחקת המיקרו מזהם וסילוקו ממים מזוהמים מהר יותר לעומת הצמח סמר חד.

יש לציין, שנדרשת עבודת מחקר נוספת לשם השלמת המידע שהוצג בעבודה הנוכחית, בהיבטים של:

1. בדיקת ביצועים של גומא הפרקים בתנאים אמיתיים של מי קולחין המגיעים לאתר אגן הירוק בהוד השרון.
 2. הבנת הגורמים המשפיעים על הישרדותו של הצמח גומא הפרקים בסביבת האגן הירוק בהוד השרון.
- במבט לעתיד, נראה, שלצמח גומא הפרקים יש פוטנציאל יישומי בטכנולוגיה המשמשת לניקוי BPA באגן הירוק בהוד השרון.

מקורות

פינברון-דוהן, נ. ודנין, א. (1998). המגדיר לצמחי-בר בארץ ישראל. מהדורה שנייה. ירושלים: כנה.

- Arye, G., Dror, I., & Berkowitz, B. (2011). Fate and transport of carbamazepine in soil aquifer treatment (SAT) infiltration basin soils. *Chemosphere*, 82: 244–252.
- Hass, U., Christiansen, S., Boberg, J., Rasmussen, M.G., Mandrup, K., & Axelstad, M. (2016). Low-dose effect of developmental bisphenol: An exposure on sperm count and behaviour in rats. *Andrology*, ISSN 2047-2919: 1–14.
- Helal, H.M. & Sauerbeck, D. (1989). Carbon turnover in the rhizosphere. *Z Pflanzenernahr Bodenkd.* 152: 211–216.
- Keddy, P. A. (2010). *Wetland ecology: Principles and conservation* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press: p. 497.
- Oehlmann, J., Schulte-Oehlmann, U., Kloas, W., Jagnytsch, O., Lutz, I., Kusk, K. O., Wollenberger, L., Santos, E. M., Paull, G. C., Van Look, K. J., Tyler, C. R. (2009). A critical analysis of the biological impacts of plasticizers on wildlife. *Philosophical Transactions of the Royal Society London. B, Biological Sciences* 364 (1526): 2047–2062.
- Stottmeister, U., Wiebner, A., Kusch, P., Kappelmeyer, U., Kästner, M., Bederski, O., Müller, R., & Moormann, H. (2003). Effects of plants and microorganisms in constructed wetlands for wastewater treatment. *Biotechnol Adv.* 12: 93–117.
- Vandenberg, L.N., Hauser, R., Marcus, M., Olea, N., & Welshons, W.V. (2007). Human exposure to bisphenol A (BPA). *Reproductive toxicology*, 24(2): 77–139.
- William, J., Mitsch, J. G., & Gosselink (2007). *Wetlands*. (4th ed.). New Jersey: John Wiley and Sons.
- Yamamoto, T., Yashura, A., Shiraishi, H., & Nakasugi, O. (2001). Bisphenol A in hazardous waste landfill leachates. *Chemosphere*, 42: 415–418.

יעילות היערות באזור צחיח למחצה בהפחתת זיהום אוויר (PM) במהלך סופות אבק

דפנה אוני ויצחק קטרה

המחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן גוריון בנגב

תקציר

סופות אבק הן מקור עיקרי לחומר חלקיקי (particular matter – PM) באטמוספירה, ובכך הן גורמות לעלייה בזיהום האוויר ולהשפעה על בריאות האדם. במהלך סופת אבק ריכוז PM_{10} (חומר חלקיקי בעל קוטר קטן מ-10 מיקרומטר) יכול להגיע לממוצע יומי של 2000 מיקרוגרם/מ"ק – ריכוז שהוא גבוה פי 40 מהתקן לאיכות אוויר על פי ארגון הבריאות העולמי. מטרת עבודה זו היא לבחון את השפעתם של יערות נטועים באזור צחיח-למחצה על זיהום אוויר במהלך סופות אבק.

ריכוזי אבק אטמוספרי נמדדו במרחב יער להב בצפון הנגב, בסביבה אורבנית הנמצאת בצדו המזרחי של היער (קיבוץ להב) ובסביבה אורבנית הנמצאת במרחק משטח היער (לקייה اللقية). ריכוזי PM_{10} נמדדו במרחב היער בתקופת רקע (ללא סופות אבק) ובזמן אמת של סופות אבק באמצעות מדי חלקיקים. במהלך תקופת הרקע היער וסביבתו התאפיינו בריכוזים נמוכים יותר של PM_{10} (38 מיקרוגרם/מ"ק) בהשוואה לאזור המרוחק מהשפעת היער (54 מיקרוגרם/מ"ק). למרות ההבדל הקטן יחסית, יש לכך חשיבות בחשיפה ארוכת טווח לבריאות האדם. במהלך סופות אבק נמצאה הפחתה בריכוז החומר החלקיקי במרחב היער ובקיבוץ להב. מידת ההשפעה של היער על זיהום האוויר בסביבתו תלויה בגודל הסופה ובכיוון הרוח. בקיבוץ להב ההפחתה הייתה מרבית בסופות מערביות, שבהן הקיבוץ נמצא בצד המזרחי של היער. עם זאת, גם הצד החשוף לרוח, בסמוך ליער, אופיין בריכוז PM_{10} נמוך ביחס ליישוב לקייה. חלקיקי האבק אשר שוקעים ונצמדים לעלוות עצי האורן (מחטים) נבדקו במעבדה. נמצא כי משקל האבק הכולל על גבי שטח הפנים של מחטי האורן הוא 9.2-8.1 גרם/מ"ר, המסתכמים לערך מינימלי של כ-418 טון אבק לשטח היער כולו אשר הוסר מהאטמוספירה. מסך האבק השוקע, החלק היחסי של PM_{10} , הוא 41.7%-60.2%.

התוצאות מלמדות על התפקיד של היער בהפחתת ריכוז החומר החלקיקי וכתוצאה מכך איכות האוויר טובה יותר בסביבת היער ובאזורים עירוניים סמוכים. ממצאים אלו יכולים להצביע על שירות מערכת אקולוגי נוסף שהיער מספק ולתמוך בתכניות פיתוח סביבתי באזורים הנמצאים תחת סיכון פוטנציאלי של זיהום אוויר בעקבות שימושי קרקע ו/או שינויי אקלים.

מבוא

סופות אבק הן תופעה נפוצה באזורים צחיחים וצחיחים למחצה. סופות אלו מסוגלות להסיע באטמוספירה כמויות אדירות של חומר חלקיקי (Particulate Matter – PM) למרחק רב משטח המקור של החומר. סופות אבק הן מקור עיקרי לחומר חלקיקי באטמוספירה בקנה מידה עולמי (Shao, Wyrwoll, Chappell et al., 2011). ההרכב הכימי (Ganor, Osetinsky, Stupp et al., 2010) והביולוגי (Katra, Arotsker, Krasnov et al., 2014) של האבק המוסע באטמוספירה משפיע הן על הסביבה הפיסית (בליעה ופיזור קרינה סולרית, יצירת עננים) והן על הסביבה האנושית (זיהום אוויר). אמצעי נפוץ למדידת זיהום האוויר הוא מדד לריכוז PM_{10} – חומר חלקיקי שקוטרו קטן מ-10 מיקרומטר. במהלך סופות אבק זיהום האוויר יכול לזנק בסדרי גודל מעל תקן איכות האוויר שנקבע על ידי ארגון הבריאות העולמי (WHO, 2005), הקובע ממוצע יומי > 50 מיקרוגרם/מ"ק. בישראל, ריכוז PM_{10} במהלך סופות אבק יכול להגיע לממוצע יומי של 2000 מיקרוגרם/מ"ק ואפילו גבוה יותר בדרום ישראל (Ganor & Foner, 2001; Kalderon-Asael, Erel, Sandler et al., 2009; Krasnov, Katra, Koutrakis et al., 2014).

מחקרים מצאו קשר חיובי בין עליית ריכוז PM_{10} , שמקורו בסופות אבק לבין מקרי תחלואה: שיעור האשפוזים בבתי חולים בעקבות מחלות נשימה כרוניות (אסטמה ו-COPD), בקרב בני גיל 65 והלאה, עלה ב-1% (0.4%-1.5%) עבור כל עלייה של 10 מיקרוגרם/מ"ק במהלך סופות אבק בצפון הנגב (Vodonos, Friger, Katra et al., 2015). מודלים אטמוספריים חזים, כי אבק אטמוספרי במזרח אגן הים התיכון (ערב הסעודית, עיראק, סוריה) צפוי לעלות ב-70% בעשור הקרוב כתוצאה מעלייה בטמפרטורת האוויר. בעבודתה של Krasnov ועמיתיה (2016) נמצאה מגמה של עלייה בריכוז היומי והשעתי של PM_{10} במהלך סופות אבק מאז 2009, במיוחד בדרום ישראל, ועל כן ישנה התעניינות גוברת בזיהום אוויר שמקורו בסופות אבק באזורים מיושבים בסביבות צחיחות וצחיחות למחצה.

צפון הנגב נמצא בשוליים של חגורת האבק העולמית, המשתרעת ממערב אפריקה עד ערב הסעודית, והוא חשוף לסופות אבק תדירות. בשנים האחרונות, צפון הנגב נמצא תחת תהליכי פיתוח מואץ ובתוך כך צפוי גם גידול באוכלוסיית האזור. למרות היותו אזור צחיח, צפון הנגב מתאפיין בפעולות ייעור ובנטיעת עצים מאז שנות ה-50 (של המאה הקודמת) על ידי קרן קימת לישראל. יערות אלו נחקרו בקנה מידה נרחב ונמצא, כי הם בעלי השפעה על גורמים סביבתיים, כגון רמות פחמן, קרינה סולרית, טמפרטורת האוויר ותכונות הקרקע (Grünzweig, Lin, Rotenberg et al., 2003; Roteberg & Yakir, 2010; Schimel, 2010).

יערות יכולים להיות יעילים בסנינון מכני של האוויר. היעילות של העצים בהפחתת הזיהום נקבעת על ידי מאפיינים שונים של העצים, כגון צורתם, גובהם וצפיפותם (Cornelis & Gabriels, 2005). יכולת לכידת חלקיקי אבק על ידי עלוות העצים קשורה למבנה שטח הפנים של העלה: אורך, חספוס ושכיחות פיוניות (Ram, Majumder, Chaudhuri et al., 2014). האבק הנתפס על גבי העלווה יכול להיות משמעותי בהוספת חומרי הזנה למערכת היער לאחר שקיעתו על הקרקע (Koren, Kaufman, Washington et al., 2006). מחקרים הראו, כי צמחייה באזורים עירוניים יעילה בהפחתת זיהום אוויר ממקור תעשייתי (McDonald, Bealey, Fowler et al., 2007; Sæbø, Popek, Nawrot et al., 2012; Popek, Gawronska, Wrochna et al., 2013; Manes, Marando, Capotorti et al., 2016). מחקר שנערך ב-55 ערים בארה"ב מצא, כי יעילות עצים ושיחים מסתכמת בהסרת 214,900 טון בשנה של PM_{10} מהאטמוספירה (טווח נע בין 84,000-335,800 טון) (Nowak, Crane, & Stevens et al., 2006). בנוסף, נמדד שיפור של איכות האוויר כתוצאה מנוכחות עצים בסן פרנסיסקו (0.05%) ובאטלנטה (0.24%). מודל אשר בחן זיהום אוויר מפליטות תחבורתיות ברומא, באמצעות ריכוזי $PM_{2.5}$, מצא כי כמות משמעותית של חומר חלקיקי הוסרה על ידי צמחייה בימים שבהם כיוון הרוח עבר דרך היער העירוני בפאתי רומא (Donato, Contini, & Belosi et al., 2006). מחקר נוסף ברומא תמך בממצאים אלו ואף הוסיף כי פוטנציאל ההפחתה של צמחייה עירונית הוא מעל 20% לריכוז PM_{10} באטמוספירה מזוהמת (Fares, Savi, Fusaro et al., 2016).

למרות הידע שנצבר בנושא זה, עדיין חסר מידע כמותי אודות ההשפעה של יערות על ריכוז חומר חלקיקי באטמוספירה בסופות אבק. ההשערה הייתה, כי זיהום האוויר ביישובים הסמוכים לאזורים מיוערים בצפון הנגב מופחת בהשוואה ליישובים מרוחקים מיער כתוצאה מסנינון של חומר חלקיקי על ידי עצי היער (איור 1). מטרת המחקר היא לבחון הבדלים בזיהום חומר חלקיקי ממקור טבעי (אבק) במרחב של יערות נטועים בצפון הנגב על ידי: (1) ניתוח ריכוזי PM אטמוספרי לאורך ציר במרחב היער, מהצד החשוף לרוח עד הצד המוגן מרוח, כולל סביבות אורבניות סמוכות, במהלך סופות אבק ובימים ללא סופות אבק; (2) כימות אבק שוקע על עלוות העצים במרחב היער לקביעת יכולת הסנינון של חומר חלקיקי.

אתר המחקר

המחקר נערך באזור צפון הנגב. האזור מתאפיין באקלים צחיח למחצה עם ממוצע משקעים של כ-300 מ"מ לשנה, היורדים בעונת הגשמים (ספטמבר עד מאי). סופות אבק מגיעות למזרח אגן הים התיכון בעיקר בעונת החורף ובעונות המעבר על ידי שלוש מערכות סינופטיות עיקריות (Dayan, Heffter, Miller et al., 1991; Kalderon-Asael, Erel, Sandler et al., 2009; Krasnov, Katra, Koutrakis et al., 2014): (1) שקע קפריסין מכיוון דרום-מערב; (2) אפיק ים סוף מכיוון מזרח; (3) שקע שרבי מכיוון מערב. בין משטחי הלס הטבעיים ושדות הגידולים החקלאיים בולטים כתמים ירוקים בנוף הצהבהב, יער דבירה ויער להב. המחקר התבצע ביער להב בשל מיקומו האידיאלי לבחינת ההשפעה על יישוב סמוך (קיבוץ להב), במהלך סופות אבק מערביות, שהן הסופות הנפוצות באזור. יער להב הוא יער נטוע טיפוסי לסביבה זו מבחינת מיני העצים, צפיפות וגודל. היער ניטע בשנות ה-50 על ידי קק"ל וכיום משתרע על שטח של כ-30,000 דונם (Dorman, 2016).

(Perevolotsky, Sarris et al., 2015). העץ הדומיננטי אשר ניטע ביערות הנגב באותה התקופה הוא אורן ירושלמי (*Pinus halepensis*), בגלל עמידותו האיתנה מול בצורות והמלחת קרקע (Bernstein, 2010).

באתר המחקר הוגדר ציר מדידה במרחב היער בהתייחס לכיוון הדומיננטי שממנו מגיעות סופות האבק. ציר המדידה כלל ארבע נקודות (איור 2): (1) צד מערב של היער החשוף לרוח; (2) תוך היער; (3) הצד המוגן מרוח, קיבוץ להב — יישוב המושפע מנוכחות היער; (4) היישוב לקייה (בערבית اللقية) — שאינו מושפע מנוכחות היער. במהלך עונת החורף, בחלוף חזיתות קרות כתוצאה ממעבר של שקע קפריסין, כיוון הרוח של סופות האבק הוא דרום-מערב. בתנאים אלו, יער להב ($31^{\circ}22'14.9''N$ $34^{\circ}50'59.7''E$) מתפקד כ"מגן אבק" עבור קיבוץ להב ($31^{\circ}22'52.5''N$ $34^{\circ}52'15.2''E$). בציר הנ"ל היישוב לקייה ($31^{\circ}19'28.7''N$ $34^{\circ}51'55.7''E$) מהווה שטח ביקורת של סביבה אורבנית החשופה לאותם תנאי סביבה פרט לנוכחות עצי היער. נתונים היסטוריים ונתוני זמן אמת של זיהום האוויר נאספו בציר המדידה, וגם בבאר שבע לצורכי השוואה אזורית וניתוח התוספת האנתרופוגנית לריכוזי חלקיקים אטמוספריים (ראו המשך).

שיטות המחקר

1. מדידות אבק אטמוספרי

ריכוזי החומר החלקיקי באטמוספירה נמדדו במהלך ימי רקע (ללא סופות אבק) ובמהלך סופות אבק. הריכוזים נמדדו בציר המדידה מהכיוון החשוף לרוח עד לאזור המוגן מרוח של היער וכן ביישובים הסמוכים (איור 2ב' נקודות 1-4). במהלך ימי רקע ($n=30$), נמדדו הריכוזים בעונת הקיץ (יולי-אוגוסט), הנחשבת "עונה ללא אבק" בישראל (Krasnov, Katra, Koutrakis et al., 2014). במהלך סופות אבק המדידות התבצעו בין החודשים דצמבר-מאי. מדידת ריכוז PM התבצעה בשטח בזמן אמת, באמצעות מכשיר מדידה נייד (TSI DustTrak DRX 8534) עם חיישן ריכוזי (מיקרוגרם/מ"ק) $PM_{2.5}$, PM_{10-1} ברזולוציית קריאה של 1%. מכשיר זה הוא בעל זמן תגובה מהיר ורזולוציה עתית גבוהה (כל 5 שניות), המשמש כלי מדידה מרכזי במחקרי סביבה (Irga, Burchett, & Torpy, 2015; Krasnov, Katra, Novack et al., 2015; Kupiainen, Ritola, Stojiljkovic et al., 2016).

במטרה לבחון את התרומה האנושית לריכוזי החומר החלקיקי באטמוספירה, שמקורה לרוב בתעשייה ובתחבורה, נאספו נתוני זיהום אוויר גם מתחנת המדידה המטאורולוגית בבאר שבע (איור 2), המנוהלת על ידי המשרד להגנת הסביבה (www.sviva.gov.il). התחנה המטאורולוגית ממוקמת על גג בניין במרכז העיר ($34.78132^{\circ}N$, $31.25674^{\circ}E$) ומאפשרת מידע היסטורי (משנת 2001) לגבי ריכוזי מזהמים שנמדדו בזמן אמת (PM , SO_2 , CO , O_3 , NO , NO_2) ובנוסף מידע אודות משתנים מטאורולוגיים (מהירות וכיוון הרוח, טמפרטורת האוויר, לחות יחסית). נתונים אלו נותחו ועובדו לטובת השוואה בין ימי עבודה (א'-ו') לבין ימי מנוחה.

2. כמויות אבק שוקע

סופות אבק באזור צפון הנגב מאפשרות השקעה של כמויות גדולות מאוד של חומר חלקיקי על פני השטח (Offer, Zaady, & Shachak, 1998; Ganor & Foner, 2001; Katra, Arotsker, Krasnov et al., 2014). כימות ישיר של כמויות האבק על גבי עלוות האורנים ביער להב התבצע במהלך תקופת האבק (ינואר) ובסוף תקופת האבק (מאי).

עלי מחט של עצי אורן בוגרים נאספו בשלוש נקודות מדידה במרחב היער (נקודות 1-3, איור 2א'). ענפים בגודל 20 ס"מ נלקחו מגובה 1.5-2 מטר לצורך בדיקות מעבדה ($n=180$). האבק שהצטבר על גבי העלים נשטף באמצעות מים מזוקקים ומברשת לתוך כוס מדידה. התרחיף (מים ואבק) הוכנס לתנור ייבוש ($105^{\circ}C$ למשך 24 שעות) לצורך שקילת האבק הנותר בכוס. מסת האבק השוקע ליחידת שטח של עלים (גרם/מ"ר) חושבה על ידי מספר העלים אשר מכסים שטח מישורי של 1 מטר רבוע ($n=50$).

חלקיקי האבק נבדקו במעבדה לצורך אפיון תכונות החומר. התפלגות גודל חלקיקים נבדקה באמצעות טכניקת הלייזר (ANALSETTE 22 Micro Tec Plus, Fritsch) אשר מודד בטווח של 0.08-2000 מיקרומטר. תוצאות ההתפלגות ומדדים סטטיסטיים מחושבים ברזולוציה של 0.01 מיקרומטר באמצעות תכנת MasControl. מורפולוגיה של חלקיקים והרכב כימי התקבלו באמצעות שימוש במיקרוסקופ אלקטרוני SEM-EDS (Quanta 200, FEI).

תוצאות ודיון

1. ריכוזי PM בימי רקע

חישוב לריכוזי אבק אטמוספרי עבור ימים ללא סופות אבק (ימי רקע) בוצע במטרה לאפיין את זיהום PM ללא ההשפעה של סופות האבק. ערך הרקע הממוצע בכל נקודת מדידה (איור 2) הופחת לאחר מכן מהערכים הנמדדים בזמן סופות האבק.

ממוצע PM_{10} יומי חושב תחילה לתקופה של שנה (אוגוסט 2015 עד יולי 2016) בבאר שבע, היכן שקיימים נתונים היסטוריים, לצורך השוואה בהמשך עם נתוני אתר המחקר. במהלך אותה השנה, 262 ימים סווגו כימים "נקיים" מאבק על פי שיטת המיון של Krasnov ועמיתיה (2014) ו-30 ימי אבק עם ממוצע יומי של $PM_{10} < 200$ מיקרוגרם/מ"ק (חסר מידע עבור 73 ימים באותה השנה). הימים ה"נקיים" מונוי לימי עבודה (א'-ו') ולימי מנוחה (שבת). הממוצע היומי של PM_{10} בימי עבודה הוא 39 מיקרוגרם/מ"ק ($SD=6.41$) לעומת

35 מיקרוגרם/מ"ק בשבתות ($SD = \pm 4.89$), ללא הבדל סטטיסטי מובהק בין שני סוגי הימים ($P \leq 0.05$) (איור 3). ההבדלים בממוצעים בין יום עבודה ושבת מצביעים על כלל התרומה של פעילות אנושית לריכוזי PM_{10} . ניתן ללמוד, כי התוספת של הפעילות האנושית לערכי PM_{10} באזור זה מזערית, כפי שנמצא גם בעבודתם של Krasnov ועמיתיה (2016). התוצאות תומכות בהנחה כי מרבית ריכוזי PM בצפון הנגב הם ממקור טבעי, כלומר של הסעת חומר חלקיקי מקרקעות קרובות ורחוקות (Katra, Gross, Swet et al., 2016a; Swet & Katra, 2016; Tanner, Katra, Haim et al., 2016).

ערכי PM בתקופת רקע נמדדו גם בשטח המחקר במהלך החודשים יולי-אוגוסט, שבהם אין סופות אבק, בשנים 2015 ו-2016. ערכי הרקע המופיעים באיור 3 מראים, כי הריכוזים בלקייה (54 מיקרוגרם/מ"ק) גבוהים יותר משמעותית מאשר בקיבוץ להב (38 מיקרוגרם/מ"ק). ההבדל יכול להיות מוסבר בשימושי הקרקע השונים המקיפים את היישובים — קיבוץ להב ממוקם בסמיכות ליער להב בעוד שהיישוב לקייה מוקף בשטחי קרקע פתוחים ובדרכים לא סלולות אשר מהווים מקורות מקומיים לפליטת אבק. ממוצעי PM_{10} בנקודת המדידה המערבית (50 מיקרוגרם/מ"ק) ובתוך היער (42 מיקרוגרם/מ"ק) היו גם הם נמוכים יותר מאלה של לקייה. תוצאות אלו של ריכוזי PM במהלך ימים נקיים מאבק באתר המחקר שימשו לתיקון הערכים הנמדדים במהלך סופות אבק (ראו בהמשך) — בכל נקודת מדידה ערך הרקע הממוצע הופחת מהערך הנמדד בזמן סופות אבק.

טבלה 1: סופות אבק אשר נמדדו במהלך 2015-2016. עוצמת הסופות מסווגת על פי קרסנוב ועמיתיה (2014). ריכוזי PM_{10} ו- $PM_{2.5}$ הינם ממוצעים למשך הסופה (מספר שעות). ערכי סטיית התקן ניתנים בסוגריים.

Table 1: Dust storms measured during 2015–2016. The storm level was classified according to Krasnov et al (2014). PM_{10} and $PM_{2.5}$ concentrations are averages for the duration of the dust storm (several hours). SD values are given in brackets.

מס. סופה Event No.	תאריך Date	מערכת סינופטית Synoptic system	נתוני סופת אבק Storm ID			ריכוז חומר חלקיקי (מיקרוגרם/מ"ק) PM concentration ($\mu g/m^3$)	
			כיוון הרוח Wind direction	מהירות רוח (מ/ש) Wind speed (m/s)	עוצמת סופה Storm level	PM_{10}	$PM_{2.5}$
1	7.1.15	חזית קרה	W (210°)	6.6	בינונית	286 (± 46)	197 (± 30)
2	11.2.15	חזית קרה	W (209°)	5.4	גבוהה	729 (± 90)	479 (± 130)
3	10.9.15	נדירה — רוח צפונית	N (307°)	2.3	גבוהה	1119 (± 107)	589 (± 56)
4	4.11.15	אפיק ים סוף	E (80°)	5.5	נמוכה	176 (± 42)	130 (± 20)
5	16.11.15	חזית קרה	S (175°)	2.5	נמוכה	195 (± 25)	198 (± 23)
6	8.1.16	חזית קרה	W (221°)	4.9	בינונית	536 (± 30)	268 (± 17)
7	18.1.16	חזית קרה	W (200°)	3.9	בינונית	229 (± 86)	157 (± 44)
8	13.3.16	אפיק ים סוף	E (99°)	2.6	נמוכה	247 (± 100)	137 (± 84)
9	1.5.16	חזית קרה	W (214°)	3.1	נמוכה	124 (± 30)	90 (± 5)
10	30.11.16	אפיק ים סוף	E (150°)	2.3	נמוכה	93 (± 14)	33 (± 10)

2. ערכי PM במהלך סופות אבק

במטרה לבחון את ההבדלים בריכוזי אבק אטמוספרי בין הנקודות השונות לאורך ציר המדידה, חושב היחס שבין ריכוז PM_{10} בכל אחת מנקודות המדידה והערך הנמדד בנקודת מערב (OF Ratio), בהנחה שרוב סופות האבק מגיעות מכיוון מערב. שש סופות אבק מתוך כלל הסופות שנמדדו (טבלה 1) התאפיינו בחזית מערבית (כולל סופה 3 עם רכיב רוח מערבי בשטח המחקר). ברוב הסופות נמצא יחס > 1 בקיבוץ להב (הממוקם ממזרח ליער להב) ויחס < 1 בלקייה (איור 4). ההבדלים נובעים מהמיקום של היישובים ביחס ליער להב, כאשר הקיבוץ נמצא במחסה היער ואילו היישוב לקייה חשוף לרוחות ולאבק. לעומת זאת, במהלך הסופה של מאי 2016 (אירוע 9 טבלה 1) הערך היה גבוה מ-1 בקיבוץ להב וגם בתוך היער. סופת אבק זו התאפיינה במהירויות רוח נמוכות ובריכוז אבק נמוך, ולכן לא נצפתה השפעה של היער על ההבדלים בריכוזי האבק בין נקודות המדידה. במהלך סופות אבק מזרחיות, נמצא יחס גבוה יותר בתוך היער לעומת קיבוץ להב (איור 4), בניגוד למגמה בסופות מערביות ובהתאם להשערת המחקר. בסופות מזרחיות, מסת האוויר חולפת תחילה בקיבוץ להב ולאחר סינון מכני על ידי העצים במרכז היער מתקבל ריכוז נמוך יותר של חומר חלקיקי בצידו המערבי של היער. במהלך שתי סופות אבק מזרחיות נמצאו אכן ערכים נמוכים יותר בנקודת מערב. לעומת זאת, בסופה של מרץ 2016 (אירוע 8 טבלה 1) היחס היה גבוה יותר בנקודת מערב לעומת שאר החתך. הסבר אפשרי הוא הרכיב הדרומי של הרוח באותה סופה. נמצא כי ריכוזי PM_{10} בקיבוץ להב היו נמוכים יותר מאשר הערכים שנמדדו בלקייה גם בסופות מזרחיות. בסופות אבק מדרום ומצפון, גם להב וגם לקייה חשופות לרוחות וההשפעה של היער על ריכוזי האבק מצטמצמת. בסופה של חודש ספטמבר 2015 (אירוע 3 איור 4) ערכי PM_{10} ירדו בתוך היער בקיבוץ להב ($OF Ratio < 1$), כפי הנראה בגלל רכיב רוח מערבי (307°), שנמדד בסביבת היער במהלך הסופה. בניגוד לכך, במהלך סופת אבק עם רכיב דרומי (אירוע 5 טבלה 1), היחס היה גדול מ-1, ככל הנראה בגלל רכיב רוח מזרחי קל (175°). תוצאות אלה מלמדות על החשיבות של מיקום היישוב ביחס ליער בהפחתת זיהום PM_{10} . ההבדלים בריכוזי PM_{10} בין נקודות המדידה נבדקו עבור סופות אבק מערביות (טבלה 1) בסיווג לפי עוצמת הסופה (Krasnov, Kutra, Koutrakis et al., 2014): "חלש" 264 מיקרוגרם/מ"ק; "בינוני" 661 מיקרוגרם/מ"ק; "גבוה" 1,322 מיקרוגרם/מ"ק או "גבוה מאוד" 1,983 מיקרוגרם/מ"ק. בכל הסופות, נצפו ערכי PM נמוכים בקיבוץ להב ובתוך היער ביחס לנקודת מערב היער אשר חשופה לרוחות מערביות (איור 5). התוצאות מראות, שעצי היער מסננים כמויות של חלקיקי אבק ובכך מופחת זיהום PM באטמוספירה בתוך היער ובמחסה היער (קיבוץ להב). עם זאת, המגמה אינה מובהקת, בעיקר בסופות שבהן כמות החומר המוסע באטמוספירה היא קטנה יחסית (סופות חלשות) וההשפעה של עצי היער היא לכן מוגבלת. גם במחקר של Nowak ועמיתים (2006) נמצאה השקעת חלקיקים מתונה יותר במהירויות רוח חלשות. התוצאות מראות, שבמהלך סופות אבק בעוצמה בינונית זיהום האוויר מופחת בסביבה המוגנת מיער (קיבוץ להב). ריכוז PM_{10} שנמדד בלהב נמצא נמוך ב-28% מאשר בלקייה אשר אינה נמצאת בהשפעת שטח היער. ההפחתה בזיהום האוויר יכולה להיות משמעותית מאוד בתנאים של סופות אבק, שבהן יש סכנה בריאותית בחשיפה לריכוזים גבוהים של חומר חלקיקי.

3. מאפייני אבק שוקע על עצי היער

תוצאות ההפחתה בריכוז האבק המרחף בסביבות המוגנות מיער (איורים 4, 5) מלמדות על השקעה של אבק בתוך היער. האבק ששקע והצטבר על עלוות האורנים נבדק במעבדה לצורך קביעת כמויות החומר ומאפייניו. היכולת של עצי אורן לקלוט חלקיקי אבק גבוהה, כפי שניתן לראות באיור 6' - שטח הפנים של מחט האורן מכוסה בשכבת אבק. המורפולוגיה של עלוות האורן המורכבת מעלים קטנים וצרים (מחטים) מתאפיינת בשטח פנים גבוה ולכן גם בקיבול האבק על העלווה (Beckett, Freer-Smith & Taylor, 2000; Nguyen, Yu, Zhang et al., 2015). בנוסף לכך, הסידור המוארך והצפוף של העלים מאפשר החלשה של מהירות הרוח ומפגשים תדירים בין החלקיקים המרחפים באוויר ובין העלה. תנאים אלה גורמים להשקעת חלקיקים רבה יותר בעצי אורנים בהשוואה לעצים רחבי עלים (Sæbø, Popek, Nawrot et al., 2012). עבודות קודמות הראו כי הממוצע השנתי של שקיעת אבק על פני השטח בצפון הנגב נע בין 85 גרם/מ"ר ל-210 גרם/מ"ר כתלות בעוצמת סופת האבק (Offer, Zaady, & Shachak, 1998; Ganor & Foner 2001; Kutra, Arotsker, Krasnov et al., 2014). במחקר הנוכחי נמדדה כמות האבק על גבי עלוות האורנים (גרם/מ"ר) במהלך עונת האבק (ינואר) ובסוף עונת האבק (מאי) (איור 6'). כמות האבק שנמצאה בינואר הייתה 4.6 גרם/מ"ר בממוצע לשלושת הסביבות (מערב, תוך היער ושוולי היער). כמות זו קטנה פי 2 מהכמות הממוצעת לחודש מאי (10.5 גרם/מ"ר). בעונת החורף ישנה שטיפה של האבק המצטבר אל מערכת הקרקע ולכן באמצע עונת החורף נמצאו כמויות קטנות יותר. מאחר שאירוע הגשם האחרון באותה שנה התרחש באפריל, האבק המשיך להצטבר על גבי עלוות האורן עד לחודש מאי אשר בו התקבלו כמויות גדולות יותר בהשוואה לחודש ינואר. כמויות האבק השוקע באזור המחקר גדולות יותר בסדר גודל מאשר באזורי אקלים אחרים. בבלגיה לדוגמה, נמצא כי כמות PM_{10} (מתוך סך האבק) על גבי עלוות עצים מסוגים שונים נעה בטווח שבין 0.07-0.49 גרם/מ"ר (Beckett, Freer-Smith, & Taylor, 2000). כתלות בסוג העלווה ועוצמת החשיפה לחומר חלקיקי. באיטליה, תכולת PM_{10} באבק ששקע על גבי עלוות אורנים הסתכמה ב-0.19 גרם/מ"ר בעונת החורף ו-0.26 גרם/מ"ר בקיץ (Marando, Salvatori, Fusaro et al., 2016). בנוורווגיה חומר חלקיקי ששקע על גבי עצים ממינים שונים (*Pinus mugo*, *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Salix cinerea*, Sæbø, Popek, 2012) נמדד במשך שנתיים חושב לערך ממוצע הנע בטווח 0.24-0.55 גרם/מ"ר (Sæbø, Popek, 2012). התוצאות שהתקבלו במחקר הנוכחי מצביעות על ההשפעה של המיקום הגיאוגרפי (קרבה למערכות הסעת אבק גלובליות) ומיעוט גשמים באזור המחקר (אקלים צחיח למחצה) אשר מאפשרים חשיפה גבוהה של העצים ביער לכמויות גדולות של חומר חלקיקי מרחף (Krasnov, Kutra, Koutrakis et al., 2014).

במהלך עונת האבק (ינואר), הכמות הגבוהה ביותר של אבק שוקע נמצאה בתוך היער אשר מוגן יחסית מפני גשם בהשוואה לסביבות השוליים החשופות (נקודת מערב ולהב). לעומת זאת, במדידה של חודש מאי נמצאה כמות אבק שוקע גבוהה יותר באופן מובהק בשולי היער. סביבות אלה חשופות לרוח ולפגיעה ישירה של סופות (מכיוון מערב ומכיוון מזרח) ולהצטברות של אבק בתנאים של מיעוט גשמים. התדירות והעוצמה של סופות אבק מכיוון מערב (טבלה 1) מסבירות את הכמות הגבוהה של אבק שהצטבר בנקודת מערב בהשוואה ללהב. משקל האבק שנמדד בתוך היער נשאר יציב בין שני זמני המדידה (8.1-9.2 גרם/מ"ר) (איור 6ב). הכמות הכוללת של אבק ששקע בשטח היער כולו חושבה על בסיס התוצאות של סביבת תוך היער, המושפעת פחות מאירועי רוח וגשם כפי שנצפה בשולי היער. הכמות המינימלית של אבק שהוסר מהאטמוספירה והצטבר על עלוות האורנים ביער היא 418.2 טון של אבק (או 0.81 טון לקמ"ר).

בניתוח התפלגות גודל חלקיקים של האבק השוקע על עלוות העצים נמצא, כי גודל החלקיק המרבי הוא 100 מיקרומטר (איור 6ג). בנקודות המדידה "מערב" ו"תוך היער" האבק השוקע מאופיין בהתפלגות תלת-מודלית (שכיחים בגודל 2.5, 10 ו-75 מיקרומטר). החלקיקים הגדולים יחסית (30 מיקרומטר ומעלה) יכולים להיות גם ממקור שטחי לס חקלאי, המצויים בקרבת היער (Katra, Gross, Swet et al., 2016a; Swet & Katra, 2016; Tanner, Katra, Haim et al., 2016). האבק ששקע בנקודת המדידה של שולי יער "להב" מכיל חלקיקים דקים יותר בהשוואה לסביבות האחרות, עם התפלגות דו-מודלית שבה החלקיקים הגדולים ביותר הם בגודל 25 מיקרומטר. ישנה מגמה של עלייה בתכולת PM_{10} מתוך סך דוגמת האבק השוקע: מכיוון מערב (42.7%), דרך תוך היער (44.6%), אל שולי היער (66.2%) (איור 6ב). מכיוון שרוב סופות האבק מגיעות מכיוון מערב (טבלה 1, איור 4), המגמה הזו מעידה על תהליך סינון של החומר החלקיקי הגס (10-100 מיקרון) בכניסה ליער (נקודת מערב) ובתוך היער, וסינון גם של חומר חלקיקי דק ביציאה מהיער (נקודת להב). על בסיס משקל האבק השוקע והתפלגות גודל חלקיקים חושבה הכמות היחסית של PM_{10} מתוך סך האבק ששקע על עלוות האורנים. במהלך עונת האבק (ינואר): מערב 1.47 גרם/מ"ר, תוך היער 3.66 גרם/מ"ר, ולהב 0.96 גרם/מ"ר. בסוף עונת האבק (מאי) הכמויות היו גדולות יותר משמעותית: מערב 6.72 גרם/מ"ר, תוך היער 4.10 גרם/מ"ר ולהב 3.60 גרם/מ"ר. התוצאות הנ"ל מעידות על היעילות של העצים בהפחתת חלקיקים הקטנים מ-10 מיקרומטר באטמוספירה על ידי קליטת האבק בעלוות האורנים הן בכניסה ליער והן בשולי היער.

מסקנות

המחקר בחן זיהום חומר חלקיקי במרחב מיוער באזור צחיח למחצה במהלך סופות אבק. התוצאות מצביעות שקיימת השפעה לנוכחות היער בהפחתת ריכוזי PM וכתוצאה מכך, הפחתה בזיהום האוויר ביישובים עירוניים הסמוכים ליער.

בימים ללא סופות אבק, היער והיישוב הסמוך (קיבוץ להב) אופיינו בריכוזים נמוכים של PM לעומת יישוב מרוחק אשר אינו בהשפעת היער (לקייה). על אף ההבדלים הקטנים יחסית בריכוזי PM בין להב ולקייה יש לכך משמעות מבחינת חשיפה ארוכת טווח לבריאות האדם. במהלך סופות אבק נמצאה השפעה גדולה יותר של היער בהפחתת ריכוזי PM באטמוספירה, וכן הבדלים גדולים יותר ברמת הזיהום בין קיבוץ להב לבין לקייה. רמת ההשפעה של היער תלויה בגודל הסופה ובכיוון הרוח ביחס למקום המדידה. עם זאת, כל סביבת היער (כולל שולי היער החשופים או מוגנים מרוח) התאפיינו בערכי PM נמוכים בהשוואה לסביבה המרוחקת מהיער. יער להב ברובו נטוע במיני אורנים, אשר גדלים בתפוצה רחבה באזורי אקלים ים-תיכוני. עלוות עצי האורן מאופיינת בחופה בעלת שטח פנים גבוה ועל כן העצים מסוגלים לקלוט חומר חלקיקי אטמוספירי. נמצא כי קליטת אבק על גבי עלי האורן (מחטים) עשויה להגיע לכמויות גדולות מאוד ובכך לסנן ביעילות את המזהמים במהלך סופות אבק.

התוצאות של המחקר מדגישות את השירות של המערכת האקולוגית, שמספק היער הנטוע, לבריאותם של בני אדם המתגוררים באזור צחיח למחצה. זאת, על ידי סינון של זיהום אוויר בחומר חלקיקי בתוך היער וביישובים הסמוכים אליו במהלך סופות אבק (איור 1). הממצאים הנ"ל מאפשרים לפתח כלים יישומיים להשגת שיפור באיכות האוויר, בתכנון פיתוח עתידיות, באזור שצפוי לחוות סופות אבק כתוצאה של שינויים בשימושי קרקע ו/או אפשרות לשינוי אקלים.

תודות

המחקר מומן על ידי קרן קימת לישראל. המחברים מבקשים להודות לאנשי קק"ל, ד"ר עמרי בונה ויצחק משה, על הסיוע והתמיכה.

מקורות

- Beckett, K. P., Freer-Smith, P. H., & Taylor, G. (2000). Effective tree species for local air quality management. *Journal of Arboriculture*, 26(1), 12–19.
- Bernstein, I. (2010). Limans in the Negev, Policy Document KKL (in Hebrew: <http://www.kkl.org.il/files/files/planning/limanim.pdf>).
- Cornelis, W. M., & Gabriels, D. (2005). Optimal windbreak design for wind-erosion control. *Journal of Arid Environments*, 61(2), 315–332.
- Dayan, U., Heffter, J., Miller, J., & Gutman, G. (1991). Dust intrusion events into the Mediterranean basin. *Journal of Applied Meteorology*, 30(8), 1185–1199.
- Donateo, A., Contini, D., & Belosi, F. (2006). Real time measure-ments of $PM_{2.5}$ concentrations and vertical turbulent fluxes using an optical

- detector. *Atmospheric Environment*, 40(7), 1346–1360.
- Dorman, M., Perevolotsky, A., Sarris, D., & Svoray, T. (2015). Amount vs. temporal pattern: On the importance of intra-annual climatic conditions on tree growth in a dry environment. *Journal of Arid Environments*, 118, 65–68.
- Fares, S., Savi, F., Fusaro, L., Conte, A., Salvatori, E., Aromolo, R., & Manes, F. (2016). Particle deposition in a peri-urban Mediterranean forest. *Environmental Pollution*, 218, 1278–1286.
- Ganor, E., & Foner, H. A. (2001). Mineral dust concentrations, deposition fluxes and deposition velocities in dust episodes over Israel. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 106(D16), 18431–18437.
- Ganor, E., Osetinsky, I., Stupp, A., & Alpert, P. (2010). Increasing trend of African dust, over 49 years, in the eastern Mediterranean. *Journal of Geophysical research: atmospheres*, 115(D7).
- Grünzweig, J. M., Lin, T., Rotenberg, E., Schwartz, A., & Yakir, D. (2003). Carbon sequestration in arid-land forest. *Global Change Biology*, 9(5), 791–799.
- Irga, P. J., Burchett, M. D., & Torpy, F. R. (2015). Does urban forestry have a quantitative effect on ambient air quality in an urban environment? *Atmospheric Environment*, 120, 173–181.
- Kalderon-Asael, B., Erel, Y., Sandler, A., & Dayan, U. (2009). Mineralogical and chemical characterization of suspended atmospheric particles over the east Mediterranean based on synoptic-scale circulation patterns. *Atmospheric Environment*, 43(25), 3963–3970.
- Katra, I., Arotsker, L., Krasnov, H., Zaritsky, A., Kushmaro, A., & Ben-Dov, E. (2014). Richness and diversity in dust stormborne biomes at the southeast Mediterranean. *Scientific Reports*, 4, 5265.
- Katra, I., Gross, A., Swet, N., Tanner, S., Krasnov, H., & Angert, A. (2016a). Substantial dust loss of bioavailable phosphorus from agricultural soils. *Scientific Reports*, 6, 24736.
- Koren, I., Kaufman, Y. J., Washington, R., Todd, M. C., Rudich, Y., Martins, J. V., & Rosenfeld, D. (2006). The Bodélé depression: a single spot in the Sahara that provides most of the mineral dust to the Amazon forest. *Environmental Research Letters*, 1(1), 014005.
- Krasnov, H., Katra, I., Koutrakis, P., & Friger, M. D. (2014). Contribution of dust storms to PM₁₀ levels in an urban arid environment. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 64(1), 89–94.
- Krasnov, H., Katra, I., Novack, V., Vodonos, A., & Friger, M. D. (2015). Increased indoor PM concentrations controlled by atmospheric dust events and urban factors. *Building and Environment*, 87, 169–176.
- Krasnov, H., Katra, I., Friger, M. (2016) Increase in dust storm related PM₁₀ concentrations: A time series analysis of 2001–2015. *Environmental Pollution*, 213, 36–42.
- Kupiainen, K., Ritola, R., Stojiljkovic, A., Pirjola, L., Malinen, A., & Niemi, J. (2016). Contribution of mineral dust sources to street side ambient and suspension PM₁₀ samples. *Atmospheric Environment*, 147, 178–189.
- Manes, F., Marando, F., Capotorti, G., Blasi, C., Salvatori, E., Fusaro, L., & Munafò, M. (2016). Regulating Ecosystem Services of forests in ten Italian Metropolitan Cities: Air quality improvement by PM₁₀ and O₃ removal. *Ecological Indicators*, 67, 425–440.
- Marando, F., Salvatori, E., Fusaro, L., & Manes, F. (2016). Removal of PM₁₀ by Forests as a Nature-Based Solution for Air Quality Improvement in the Metropolitan City of Rome. *Forests*, 7(7), 150.
- McDonald, A. G., Bealey, W. J., Fowler, D., Dragosits, U., Skiba, U., Smith, R. I., & Nemitz, E. (2007). Quantifying the effect of urban tree planting on concentrations and depositions of PM₁₀ in two UK conurbations. *Atmospheric Environment*, 41(38), 8455–8467.
- Nguyen, T., Yu, X., Zhang, Z., Liu, M., & Liu, X. (2015). Relationship between types of urban forest and PM_{2.5} capture at three growth stages of leaves. *Journal of Environmental Sciences*, 27, 33–41.
- Nowak, D. J., Crane, D. E., & Stevens, J. C. (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States. *Urban Forestry & Urban Greening*, 4(3), 115–123.
- Offer, Z. Y., Zaady, E., & Shachak, M. (1998). Aeolian particle input to the soil surface at the northern limit of the Negev desert. *Arid Land Research and Management*, 12(1), 55–62.
- Popek, R., Gawrońska, H., Wrochna, M., Gawroński, S. W., & Sæbø, A. (2013). Particulate matter on foliage of 13 woody species: deposition on surfaces and phytostabilisation in waxes—a 3-year study. *International Journal of Phytoremediation*, 15(3), 245–256.
- Ram, S. S., Majumder, S., Chaudhuri, P., Chanda, S., Santra, S. C., Maiti, P. K., & Chakraborty, A. (2014). Plant canopies: bio-monitor and trap for re-suspended dust particulates contaminated with heavy metals. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 19(5), 499–508.
- Rotenberg, E., & Yakir, D. (2010). Contribution of semi-arid forests to the climate system. *Science*, 327(5964), 451–454.
- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H. M., Gawronska, H., & Gawronski, S. W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of the Total Environment*, 427, 347–354.
- Schimmel, D. S. (2010). Drylands in the earth system. *Science*, 327 (5964), 418–419.
- Shao, Y., Wyrwoll, K. H., Chappell, A., Huang, J., Lin, Z., McTainsh, G. H. & Yoon, S. (2011). Dust cycle: An emerging core theme in Earth system science. *Aeolian Research*, 2(4), 181–204.
- Swet, N., & Katra, I. (2016). Reduction in soil aggregation in response to dust emission processes. *Geomorphology*, 268, 177–183.
- Tanner, S., Katra, I., Haim, A., & Zaady, E. (2016). Short-term soil loss by Aeolian erosion in response to different rain-fed agricultural practices. *Soil and Tillage Research*, 155, 149–156.
- Vodonos, A., Friger, M., Katra, I., Krasnov, H., Zahger, D., Schwartz, J., & Novack, V. (2015). Individual Effect Modifiers of Dust Exposure Effect on Cardiovascular Morbidity. *PloS one*, 10(9), e0137714.
- World Health Organization (2005). *WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*.

חדשות מהשטח

רכיבת אופניים בשטח — גם למטרות מחקר סביבתי

יצחק קטרה ואיתי קלוג

המחלקה לגיאוגרפיה ופיתוח סביבתי, אוניברסיטת בן גוריון

בשנים האחרונות תחום רכיבת אופניים תופס תאוצה בעולם עקב התועלות הרבות לאיכות החיים, ביניהן פנאי, טבע, ספורט ובריאות. רכיבת שטח היא פופולרית מאוד, משום שהיא מאפשרת רכיבה בטוחה יחסית לרכיבת כביש וכן חוויה של בילוי בנופי טבע. במקומות רבים בעולם מוסדרות דרכים רב-שימושיות לצורך בטיחות לצד יצירת שבילים ייעודיים לרכיבת אופניים בלבד, כולל "סינגלים", שהם שבילים המתאימים לרוב לרכיבה של רוכב בודד או בטור. הקרן הקימת לישראל היא הגוף המוביל בארץ בפיתוח שבילי רכיבה בצפון, במרכז ובדרום הארץ (תמונה 1). פיתוח שבילי אופניים הוא חלק ממדיניות קק"ל לפיתוח היערות והשטחים הפתוחים שבאחריותה לרווחת המטיילים, הנופים, והרוכבים, כדי לאפשר רכיבת שטח בטוחה, תוך שמירה על ערכי הטבע והנוף. בתהליך התכנון וההקמה של שבילי האופניים שמים דגש על החוויה והאתגר ברכיבה על השביל וכן על ההתאמה של המסלולים לרמות רכיבה שונות. קק"ל מכשירה מסלולים קלים, שאינם מצריכים מיומנות רכיבה גבוהה, לצד מסלולים המיועדים לרוכבים מיומנים. התכנון לעתיד כוללות המשך הכשרה של שבילי רכיבה על אופניים ביערות ובשטחים הפתוחים לצורך עידוד הרכיבה במסלולים מאושרים ומיגור תופעת השבילים הפיראטיים. מידע נוסף על שבילי קק"ל ניתן למצוא במאמר "קק"ל בשביל האופניים" (www.kkl.org.il). ופירוט על מסלולי רכיבה באתר e ירוק קק"ל (www.eyarok.org.il/bike).

תחום רכיבת האופניים צובר תאוצה גם במחקרים סביבתיים, המתמקדים בזיהום אוויר במרחבים עירוניים וטבעיים. במקרה זה, האופניים מהווים תחנות ניטור לאיסוף נתונים באזורים שבהם אין מדידות קבועות. תחנות ניידות מותקנות לרוב על גבי מכוניות, אך ישנן מגבלות מבחינת השטחים, שבהן ניתן למדוד בגלל תוואי השטח או הרגישות הנופית שלו. מגבלה אפשרית נוספת היא, שהמכוניות פולטות מזהמים ופעולת המדידה משפיעה למעשה על התוצאות. שימוש באופניים כתחנת ניטור ניידת יכול להוות פתרון יעיל ו"ירוק". רק בשנתיים האחרונות החלה מודעות לנושא וכיום קבוצות מחקר של אוניברסיטאות מובילות בצפון אמריקה עושות שימוש נרחב בתחנות ניטור מבוססות-אופניים לצורך מחקרי זיהום אוויר עירוניים. האופניים מצוידים במכשירי מדידה סביבתיים ובמערכת GPS לתיעוד ציר הנסיעה במרחב ובזמן (תמונה 2). תחנות ניידות "ירוקות" ראשונות בארץ לצורכי מחקר החלו להיבחן לאחרונה במרחבים עירוניים וטבעיים על ידי המעבדה לסימולציה איאלית והמעבדה להערכת חשיפה סביבתית באוניברסיטת בן גוריון. השילוב של שבילי אופניים ביערות בארץ, תחנות ניטור ניידות-ירוקות, והצורך במידע על איכות האוויר לבריאות האדם הוא בסיס מצוין למחקרים חדישים על תפקיד היערות לאיכות האוויר במרחבים סמוכים, בעיקר באזורים החשופים לזיהום אטמוספרי כתוצאה מתיעוש עירוני או מתופעות טבע, כגון סופות אבק.

מה חדש — הגן הבוטני באילנות

אילון כלב

אגף הייעור, קק"ל

גן ההדגמה לעצים (הארבורטום), הגן הבוטני אילנות, נמצא כקילומטר צפונית לצומת קדימה-הדסים, הוקם בשנת 1950 ומשתרע על שטח של כ-130 דונם וכיום יש בו כ-350 מיני עצים ושיחים.

הגן הוקם על ידי מחלקת הייעור של משרד החקלאות, במטרה לבחון את ההתאמה של כ-750 מיני עצים ושיחי יער ונוי מאזורים שונים בעולם. הידע שנרכש בארבורטום יושם במיזמי ייעור ברחבי הארץ. כיום יש בגן מאות מינים שונים של עצים ושיחים וביניהם עשרות מיני איקליפטוס.

שטח הגן מחולק לאזורים המייצגים את היחידות הגיאוגרפיות העיקריות של העולם. כל מין בוטני מיוצג על ידי שלושה עד תשעה עצים. הגן כולו מוגנש לבעלי מוגבלות: כ-2,500 מטר של שבילים מונגשים וספסלים רבים, בהם ניתן לעצור, לנוח ולהתבונן בעצים. בכניסה לגן נמצאת עמדת מסבירן קולי ושולחנות פיקניק מונגשים.

בין האטרקציות במקום תוכלו למצוא את מעגל עצי הקזוארינה, המשמש ככיתת לימוד אלטרנטיבית — ללא קירות של ממש, מבוך העצים וחלקות של עצים נדירים.

בשנים האחרונות רוח חדשה נושבת בגן: שטח הארבורטום קודם למעמד של גן בוטני מוכר (ה-11 במניין בישראל), הוצבו שלטי נירוסטה בסמוך לכל קבוצת עצים, המייצגת מין בוטני, המתארים את שם העץ, את המוצא הגיאוגרפי שלו, את מפת התפוצה וקישור באמצעות QR קוד, לבסיס-ידע אינטרנטי, בשיתוף עם אתר "צמח השדה", שבו מתואר המין, תנאי הגידול שלו, האם נפוץ בארץ והאם מתאים לייעור או לגינון.

החל משנת 2014 ניטעו בגן כ-100 מיני עצים ושיחים חדשים, לטובת בדיקת עמידותם לתנאי הייעור והגינון בארץ. חלק מהמינים צומחים בר בישראל וחלקם מגיע מארצות בעלות אקלים דומה לישראל: אמריקה המרכזית, אפריקה ומדגסקר, אוסטרליה, ועוד. בגן נפרשו מערכות השקיה כדי להבטיח את קליטתם של העצים הצעירים בקרקע בשנים הראשונות לחייהם.

הגן הבוטני אילנות מהווה אכסניה לפעילויות לימודיות ומקצועיות רבות: סיורים של אנשי מקצוע מתחומי החקלאות, הייעור והגינון, הדרכות לקהל הרחב (בתאום מראש) ואף קורס אורתופדיה ובריאות העצים מטעם משרד החקלאות.

בכניסה לגן ישנו מרכז מבקרים אינטראקטיבי, המיועד למשפחות ולקבוצות, שבו אפשר ללמוד על עולם הייעור והעשייה היערנית בארץ ובעולם, וכיצד הם משתלבים עם מערכות אקולוגיות ושיקום אקולוגי בישראל. כחלק מפתחת מרכז המבקרים החדש, נסללה חניה חדשה בסמוך לכניסה לגן, היכולה להכיל מאות מבקרים.

כחלק מצוות הגן, המונה גם אנשי מקצוע ומדריכי קק"ל, פועלת יחידת מתנדבים העוסקים באחזקה, בהדרכת קבוצות מבקרים, בהסברה ובקבלת הקהל המגיע לגן.

אתר הגן:

<http://www.kkl.org.il/forestsearch/ilanot-arboretum.aspx>

<http://www.wildflowers.co.il/ilanot>

מיקום: ממזרח לכביש 4, כ-1.1 קילומטר צפונית לצומת קדימה-הדסים.

שעות ביקור: כל יום בין השעות 08:00

עד 16:00.

תחבורה ציבורית: קווי אגד 921 חיפה-ת"א, 819 פרדס חנה-ת"א, 871 זיכרון יעקב-ת"א,

821 עפולה-רעננה.

טלפון: 1-800-350-550 (קו ליער).

עצי תפארת

בוקיצה שעירה (*Ulmus canescens*) ברמת מנשה

רועי הראל

בוקיצה שעירה (לשעבר אולמוס שעיר) היא עץ נשיר ממשפחת המישיים. ישראל מהווה את הגבול הדרומי של תחום תפוצתו העולמי, המשתרע מארצות שלצפונו של הים התיכון ומזרחה עד אירן והקווקז. הפרי צומח עוד בטרם לבלבו העלים והוא ירוק בצעירותו, ואז נראים הפירות כאילו הם עלי העץ (תמונה 1). בוקיצה שעירה נדירה בארץ וגדלה בשולי נחלים עם מים זורמים כל השנה בבקעת החולה, בגליל, בשומרון ובכרמל. ברמת מנשה ישנן מספר אוכלוסיות בר בצפיפות מרשימה של מין נדיר זה, הנמצאות בערוצי הנחלים קרת, השופט, גחר, משמר העמק וספלול (מפה 1).

האלה האטלנטית (*Pistacia atlantica*) בצומת העמקים (צומת ג'למה)

עמנואל קאופשטיין

סמוך לצומת העמקים, על כביש 70, גדל עץ אלה אטלנטית אשר נשמר תודות למאמצים ושיתוף פעולה בין אנשי קק"ל ומע"צ בעת ביצוע העבודות להרחבת הכביש בשנת 1985. שימור עץ זה היווה מודל להגנה על עצים מיוחדים בעבודות של פיתוח כבישים ותשתיות.

מן הארכיון

יוסף וייץ מתוך:

"היער — קובץ המוקדש לבעיות היער והיעור בארץ ישראל", קובץ א', עמ' 44-43, נובמבר 1947

יער בלפור — בן עשרים

בחורף תרפ"ח הוחל בנטיעת יער בלפור במדרוני הגבעות של גניגר, ובה בשנה נסתיימה תקופה בעבודת היעור של הקק"ל, שארכה שמונה שנים. תרפ"פ-תרפ"ח, היא תקופת גישוש וחיפוש, בירור וליבון שאלות רבות הנוגעות באופי העבודה, בבחירת העצים, ברווחים שבין העצים, במועדי הנטיעה, בטיפול וכיוצא בהן שאלות בהלכות ייעור, שהלכו ונתחדשו אגב המעשה. צעד אחרי צעד הסתמנה המטרה העיקרית של הייעור הלאומי והותוו הדרכים המובילות לקראת השגתה, והתברר, ששבילי היער הם גם שבילי הירוק והפועמי היער מוליכים אל הירוק ולהפך. כלומר, ההירוק, במידה שאדמתו אינה פליחה, ושכונת מצויה בו במידה ניכרת, הריהו בית הגידול הטבעי והעיקרי ליער ואילו יש לכוון את פעולת הייעור של הקק"ל כדי ליצור ראשיתו של יער חדש.

מעלי הגבעות שמעל עמק גניגר נמצאו נאים לתכלית זאת. הם נישאים עד כביש נצרת-חיפה בגובה 300 מטר מעל פני הים, כאובי אבנים מפוזרות, רבוצי סלעים חשופים ומבותרי ערוצים עמוקים ופתלתלים, רובם ככולם בלתי מעובדים. ואם אריסי סורסוק לא עבדום, חזקה — סברנו אז — שאינם ראויים לעיבוד חקלאי, אלא לייעור. במרוצת השנים נתחדשה בבית מדרשנו הלכה אחרת: הודות לעבודת הייעור בהרים הכרנו את איכות ההר ומהותו, למדנו לעבוד באדמת הרים, גילינו, ומגלים והולכים את האפשרויות הגלומות בהר לענפי חקלאות משקית. אבל אז הפרשנו רק מטליות אחדות, הקרובות לישוב ושאינן בהן עקוב, בשביל ענפי חקלאות אחרים, וכל השאר, ב-1,400 דונם, יעדנו לייעור.

בחורף תרפ"ח הוחל ביעור הגבעות ובחורף תרצ"א הושלמה הנטיעה כולה. לפי המידות שנקטנו אז בייעור הרי היו מידות הייעור בגניגר גדולות, ביחוד הצטיינה הנטיעה בשנת תרפ"ט: בה בעונה ניטעו מאה ושישים אלף שתילים על שטח של שש מאות דונם! ואל יהא מעשה זה קל בעינינו גם היום. מאז לא הראה שום ישוב יכולת גדולה יותר. אמנם, לא בני גניגר בלבד ביצעו את ה"משימה" הזאת, כי אליהם נלוו בני "ארגון הצפון", אלה הבחורים הרעננים מלאי צהלה לקראת עבודה והשתלטות על הסלעים, בוגרי מקווה ישראל שבאו מהצפון, שם התכשרו במשקיות, ופניהם להתישבות. פעולה אחרת לא הייתה להם, כי אם עבודת הייעור שקיבלו מ"הקבלנים" בני גניגר. האח! היה זה מראה מרהיב עין ומצחיל לבב, כשעשרות בחורים נפוצים בגבעות ובערוצים, גוחנים לאם האדמה כאילו לוחשים סוד באזנה, או כורעים לפניה על ברכיהם ומלטפים אותה בידיהם ומאחוריהם שורות עצים רבים רעננים, צצות כביד קסם וכל שתיל צוהל וכל שתיל רונן, ובמקום שרקיע וארץ מנשקים צועדים חמורים עמוסי שתילים בחשיבות רבה ואחד בחור מחמר אחריהם ומפזם, והכל ביחד אומר מעשה נפלא, מעשה בראשית של נטיעת יער. וכך חיו בזמן עידור ראשון ובזמן עידור שני, כשהחמסינים צורכים על הגב ולוהטים על ראשי השתילים הרכים וחורכים את הסלעים וחוררים את האדמה, ואף על פי כך הייתה חדוה מהלכת על הגבעות ה"מיוערות" וצהלת ירק מתגנדרת מול הגבעות החשופות עדיין שממערב. אלא שגם הללו באה שעתן במהרה, בשנת תר"ץ ניטעו עוד 114,000 עצים על 340 דונם, ובשנת תרצ"א עוד 72,000 עצים על 240 דונם. והמחשף של גבעות גניגר כוסה כולו. אלף ארבע מאות ועשרים דונם התחילו נושאים על גבם צמרות ומסתירים בחיקם שורשים של ארבע מאות אלף שתילים קטנים שגדילתם צפונה להם בעתיד.

והם גדלו.

עוד חודשים אחדים יהיה יער גניגר בן עשרים. כבן ישראל עדו גם עליו לבטים והרפתקאות. לבטי גידול והתפתחות, התקפת אויבים בכריתה ושריפה, ואף מזיקי טבע לא חסרו בו. אך כמוהו המשיך גדול בהתמדה ובעקשנות בהשתרשו למטה ובהסתעפו למעלה, ורוח יער, יער ארצי ושראלי, תאפפנו ותדובבנו. הרבה יש ללמוד הימנו על שיטת נטיעה, על גיזום ועל דילול, על קווי אש ושבילי הלך ועוד. ואשרי היערן המהלך בו. עתה איננו האחד, לידו כפר החורש, וממולו משמר העמק, ורחוק הימנו חניתה ואילון ורמים בגליל העליון, והגלבוש בעמק, קריית ענבים ומעלה החמישה בהרי ירושלים, חורשות ויערות על אלפי דונם ובמיליונים עצים. כולם אוהבים כולם יקרים, אך ביער זה משהו שאין בהם, משהו מ"אהבת נעורים". ביער בלפור-גניגר גנוזים חלומות של ימי משיח מתקרבים, ואליהם יערוג לב האדם מישראל תמיד וביתר עוז ב"ערוב היום". האם נגוזו החלומות ואינם? לא. בפינת הקסם שביער זה הם מאושרים ומלחשים, בשדרת הברושים שבמעלה הגבעה הם מרפרפים ותוססים, משם נשקף העמק שלנו וכל מה שנוצר בו במשך עשרים השנים, ואם נשמך פתוחה ועינך פקוחה הרי תראה משם את החלומות שהפכו למציאות, שהחלום לא יתנדף ממנה, ותראה והנה הדרך מותווית והיא מוליכה אל פסגת המטרה.

והדרך — דרך גניגר על משקה ועל יערה.

השנה יער בלפור בן 90, חזרנו לצלם את אותו הוואדי המשקיף לעמק יזרעאל מעל קיבוץ גניגר אשר מופיע בתמונה במאמרו של יוסף וייץ.

מהנטיעה המקורית של 1927 ניתן להבחין בשדרת הברושים הצריפיים בוואדי היורד מהיער לעבר הקיבוץ. מעבר לוואדי נותרו עצי אורן ירושלים בצפיפות משתנה, שתחת חופתם ישנן התחדשויות טבעיות של המינים המחטניים (אורן ירושלים, אורן ברוטיה וברוש מצוי) וכמו כן של מיני רחבי עלים (אלון מצוי, חרוב מצוי, אלה ארץ ישראלית, ועוד).

Abstracts

For figures, tables and bibliography – see the Hebrew text

The Establishment of Forest Resources in Israel: Policy, Action and Implications

Orly Rechtman
The Council for a Beautiful Israel

This paper discusses the development of afforestation policy in Israel from the end of the 19th century until 1960 and identifies the factors influencing its design and implementation. Analysis of the chronological development of the decision-making process by the organizations involved in afforestation identifies three stages characterized by changing goals and a change in the character of the forest created. During most of the period, planting forests provided a tool for realizing national goals, and policy was guided by changing tasks imposed by the officials of the Zionist movement, the British Mandate authorities and the State of Israel. Afforestation was originally perceived as an agricultural activity and subsequently as a tool for managing national land reserves and as an aid for developing Jewish settlements in the Land of Israel. The by-products, resulting from applying this policy during this period of time, have a considerable impact on the present distribution of the planted forest resources in Israel and the landscape of open spaces.

Long Term Impact of Climatic and Hydrologic Variations on Vegetation Activity in a Semi-Arid Watershed. Sayeret Shaked Park as a Test Case

Eli Argaman¹, Raphael Barth², Yitzhak Moshe³, Meni Ben-Hur⁴

¹ Soil Erosion Research Station, Department of Soil Conservation and Drainage, Ministry of Agriculture, Israel

² University of Applied Forest Sciences, Rottenburg am Neckar, Germany

³ Soil Conservation & Forest Unit, KKL southern region

⁴ Institute for Soil, Water and Environmental Sciences, Volcani Center, ARO, Israel

Eliar@moag.gov.il

Climatic models predict an increase in average temperature in conjunction with reduction of total rainfall depth in arid and semi-arid regions. Current climatic fluctuations aggravate ecosystem susceptibility in arid regions as a result of environmental and anthropogenic pressure. A long-term study was conducted in “Sayeret Shaked” park, located near Ofakim (figure 1) between 1991 and 2013. This study investigated the impact of rainstorm pattern (table 2), climatic properties (figure 5 A–D) and surface runoff on annual and woody vegetation in an undisturbed watershed. The data collected includes Normalized Difference Vegetation (NDVI) for the hydrological years 2000–2013 (figure 2); total annual rainfall from 1991 till 2013 (figure 3A); calculated Potential Evapotranspiration (ET₀) from 1994 till 2013 (figure 4); and surface runoff volume (shown in figure 6A) taken from runoff plots near the studied watershed from 1991 till 2011. The development of annual vegetation in a specific hydrological year was affected mainly by the total annual rainfall volume, which provided the annual consumed water for the plants. Increased annual ET₀ by 0.01 mm had a minor effect on annual vegetation development. In contrast, woody vegetation in the watershed was significantly affected by continuous droughts that occurred during previous years, which also reduced surface runoff that can serve as a water resource for this vegetation.

The Effect of Adding Coal Ash to Planting Pit on the Survival and Development of Woodland Transplanted Trees and Seedlings Grown in 25 liter Containers

Eli Benichou and Nir Herr
Northern Region, KKL-JNF
elibe@kkf.org.il

It is important to find uses for the large amounts of coal ash (fly + bottom) that are generated in the production of electricity at power plants. One of the main uses of the excess ash is in agriculture. An experiment was conducted adding coal ash to transplanted trees and large saplings, which examined the effect of the ash on the survival and development of the trees. Two experimental plots were established: one in the “Har Ahim Forest” and the second in the “En Tut Forest”. Both sites tested the effect of coal ash with the addition of compost (30%) on transplanted Tabor oak and Kermes oak, as well as on large saplings (25 liter root ball), principally Atlantic pistacia and terebinth. Transplanting was carried out in 2012 with data gathered after three years. A significant negative correlation was found in the Har Ahim Forest between the ash-treatment of trees and tree diameter, shoot growth (vertical and horizontal), canopy diameter and tree vitality. When tree survival of trees with coal ash and control trees transplanted in Har Ahim Forest was compared, there is a significant inverse relation ($P = 0.014$), i.e. the survival rate of trees receiving ash was significantly lower than that of controls. Large planted saplings at both sites were measured and no significant impact on height and lower diameter

was found in the seedlings treated with coal ash compared to the control.

A possible explanation for these negative results may be related to the fact that the addition of ash raises the PH of the soil and consequently, decreases the availability of trace elements, negatively affecting the vitality and survival of the trees. Positive responses to the addition of coal ash were found in studies of soil that was slightly acidic and low in organic matter, whereas the terra rossa and brown rendzina soils of the test sites are clay and basic, conferring no advantage to the ash treatment. An important general conclusion from this study and others is that, given the strong impact of ash on many soil characteristics (physical, chemical and biological), its application should be adjusted in accordance with the ash and soil characteristics where it is to be used as well as the existing agro-climatic conditions. This study is unique compared to others involving coal ash as it is the first carried out on trees transplanted on basic clay soil.

Pine Pitch Canker Disease Caused by the Fungus *Fusarium circinatum*

Lior Blank and Stanley Freeman

Department of Plant Pathology and Weed Research, ARO, Volcani Center, Bet Dagan, 50250, Israel

liorb@volcani.agri.gov.il

Pine Pitch canker, caused by the fungus *Fusarium circinatum*, is one of the most important pathogens of *Pinus* species. At present, the disease occurs in forests and nurseries in various locations worldwide. It was first described in 1945 in the southeastern United States, where it was thought to be endemic; subsequent work suggested that the pathogen may be native to Mexico. Since then, *F. circinatum* has spread widely and now occurs in Central America (Haiti and Honduras), South Africa, South America (Chile, Colombia and Uruguay), Asia (Republic of Korea and Japan) and southern Europe. Spain was the first European country where the disease was detected over ten years ago; more recently the pathogen has become established in Portugal and has also been reported in France and Italy. In adult trees the most common symptom of pitch canker is gumming of resin from cankers on the trunk, terminals or main branches. The pathogen also causes damping-off, shoot die-back and death of seedlings in nurseries. The pathogen has been reported as seedborne and can survive both superficially and internally within seeds, causing high seedling mortality rates. Until now *F. circinatum* is exclusively a pine species pathogen, although other host tree species such as *Pseudotsuga menziesii* were found susceptible to the pathogen. At least 57 species of *Pinus* are known to be susceptible to pitch canker. At present there are no means of managing the disease in adult trees in forests or plantations.

What Makes a Biosphere Reserve Successful? Local and International Insights

Lihi Golan, Daniel Orenstein and Pnina Plaut

Faculty of Architecture and Town Planning, Technion – Israel Institute of Technology

lihigol@gmail.com

Biosphere Reserves (BR) are designed to deal with one of the most important issues facing the world today: how do we reconcile biodiversity and natural resource conservation, while allowing their sustainable use? (UNESCO 1995, Ishwaran & Persic 2008). BRs are sites, designated by UNESCO's Man and Biosphere program, with spatial, social and administrative components. The BR concept was developed over the past four decades parallel to the development of the concept of sustainability and the emerging realization regarding the importance of biological and cultural diversity. In recent decades, conservation paradigms have been changing. One particular change is the realization that in order to preserve environmental resources, they shouldn't be "protected" from the people who live around them, but rather people should have an inherent part in managing them. BRs are one of the prominent models reflecting this paradigm shift (Price 1996). However, despite decades of experience, BR success in achieving their objectives is ambiguous, and many of them (including in Israel) only bear the "label" of the BR, and do not realize the model's potential in practice (Coetzer et al. 2014, Ishwaran 2012).

This paper reviews different perception of "success" in BRs, asking: what are the various opinions regarding how a BR should function? For this purpose, we examine how different sources measure success in BRs, including (1) UNESCO, (2) the academic literature and (3) 21 stakeholders and professionals in Israel. The findings show that there is some similarity in how success is defined and measured, though each source has unique emphases. Nonetheless, there seems to be a general consensus around operational indicators such as public participation and normative objectives such as environmental benefits. Nonetheless, not all of the Israeli stakeholders and professionals see social and economic benefits as a measure of success in BRs. This suggests that although the BR model is designed to promote development and conservation, it is still perceived by most respondents as a conservation centered model, rather than as a tool for social and economic development.

Bisphenol-A Removal by Constructed Wetland Plants

Eran Benyamini¹, Regina Borukhov-Sharapov¹, Itzhak Bilkis²

and Elisha Tel-Or¹

¹ The Robert H. Smith Institute of Plant Sciences and Genetics in Agriculture, Faculty of Agriculture, Food and Environment, The Hebrew University of Jerusalem

² Institute of Biochemistry, Food Science and Nutrition, Faculty of Agriculture, Food and Environment, The Hebrew University of Jerusalem
elisha.telor@mail.huji.ac.il

Bisphenol-A (BPA) is a toxic pollutant used in the plastics industry and discharged into the environment.

This study tested optional removal of BPA by wetland plants. *Cyperus articulatus* and *Juncus acutus* were selected from a wetland system and

the experiments were conducted in a hydroponic system.

Cyperus articulatus was most effective in BPA removal. At concentrations of 200 ppb removal took place within one day and high concentrations of BPA up to 10 ppm were removed within one to four days. The main breakdown product of BPA was 3-OH-BPA which is 10 times less toxic than the original pollutant.

We also identified the bacteria *Bacillus megaterium* associated with the roots of *Cyperus articulatus* and this bacterium was effective in BPA removal.

Altogether, *Cyperus articulatus* is a most effective candidate for BPA removal in hydroponic system and wetlands.

The Effectiveness of Forests in Semi-Arid Regions in Reducing Air Pollution During Dust Storms

Daphna Uni and Itzhak Katra
Department of Geography and Environmental Development,
Ben-Gurion University of the Negev
katra@bgu.ac.il

Dust storms are a major source of global atmospheric particulate matter (PM) and air pollution. During dust storms, PM₁₀ (particulate matter that is less than 10 micrometers in diameter) concentrations can reach 2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, high levels which exceed the World Health Organization (WHO) guidelines for air quality. The objective of this study was to study the effect of forests in a semi-arid zone on air pollution during dust events. Atmospheric PM concentrations were measured during dust storms and non-dust days (a background period) in a forest transect (Lahav, Northern Negev, Israel), including populated environments near the forest (Kibbutz Lahav) and at a more distant location (Lakiya). During a background period, without dust events, the forest and its surrounding areas were characterized by lower monthly average PM concentrations (38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) compared with areas that are not influenced by the forest (54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Such a difference can be significant for human health in long-term exposure. A reduction in PM concentrations in the forest was also recorded during dust storms, depending on the storm intensity and the locations of the shielded areas. Significant reduction was recorded in Kibbutz Lahav during western storms, in which the Kibbutz is on the leeward side of the forest. In these storms, lower PM levels were recorded even in the windward area (exposed to winds) of the forest compared with Lakiya. Dust particles that were deposited on the foliage were analyzed in the lab. The total dust deposit on the foliage was found to be 8.1–9.2 g/m², which is equal to a minimum of 418 tons removed from the atmosphere by the foliage area of Lahav forest. The relative amount of PM₁₀ from the total dust was 41.7–60.2%. The results show the role of forests in reducing atmospheric PM during dust storms, thus contributing to a better air quality in the forest and its surrounding areas. This highlights an ecological service of forests, which provides support for environmental development plans for in regions that are exposed to potential risks of air pollution due to land use and/or climate changes.