

אתר מחקר אקולוגי ארוך טווח (LTER) לחקר ממשק יער נטע אדם בישראל

השפעות דילול וטיפולים בתת היער על חיוניות ובריאות היער, חידוש טבעי
ומגוון ביולוגי ביער אורן ירושלים נטוע

יגיל אסס*, אלה זנגי*, מויש צוקרמן**, וחנוך צורף**

מנהל המחקר החקלאי בית דגן
קרן קיימת לישראל

*
**

תקציר

במסגרת בתכנית מחקר זו הוקם אתר מחקר ארוך טווח לחקר ממשק יערות נטע אדם בישראל על מנת לסייע בגיבוש מתווה פעולה ליצירת דור היער הבא כיער רב תכליתי ובר-קיימא. המחקר מתמקד ביער אורן ירושלים בוגר. המחקר נועד לתרום להשגת המטרות הבאות : (1) הארכת אורך חיי דור היער הנוכחי תוך שימור חיוניותו, ערכו הנופי ועמידותו בפני נגעים ופגעים, (2) יצירת הדור הבא תוך התבססות ככל הניתן על תהליכים טבעיים ומינימום פגיעה בבית הגידול, (3) העלאת המגוון הביולוגי ע"י טיפוח תת היער והעשרת מגוון העצים רחבי עלים ים תיכוניים. במחקר נבחנות השפעות טיפולי דילול חופת היער על חיוניות ובריאות עצי היער, התחדשות טבעית ומגוון ביולוגי. בשנת 2008, שנת המחקר הראשונה, התבצעו סקרים מקדימים בהם נמדדים המדדים המתארים את מצב עצי היער והצומח בתת-היער בחלקות טרם ביצוע טיפולי הדילול. הסקרים המקדימים כללו (1) צומח עשבוני – הרכב ומגוון, צומח מעוצה בתת היער – כיסוי, צפיפות, הרכב ומגוון, (3) התחדשות א. ירושלים – צפיפות וגודל זריעים מבוססים, (4) עצים בוגרים – קוטר גזע, גובה, גודל הנוף הירוק (אורך ורוחב) כיסוי הנוף (LAI) ושיעור נגיעה במצוקוס, חיפושית קליפה ותהלוכה האורן, (5) סקר פרוקי רגליים - סקר פרוקי הרגליים בחלקות ה-LTER בקדושים מהווה חלק ממערך סקרים המתבצע במגוון בתי גידול בישראל כחלק מפרויקט המארג העוסק בניטור מגוון ביולוגי. כמוכן, התבצע באתר סימון מקדים לצורך טיפולי הדילול ונרכשה תחנה מטאורולוגית שהוצבה באתר עם סיום עבודות הדילול.

תוצאות ראשוניות הראו שצפיפות עצי היער בהווה (לפני ביצוע טיפולי הדילול) השפיעה במידה מסוימת על עושר המינים בצומח העשבוני בתת היער. ב-2009 נמשכו סקרי שנת האפס בדגש על סקר צומח מקיף ומדידות עצים. בנוסף בקיץ התבצע דילול החלקות על פי מתווה הניסוי. בשנת 2010 בוצע סקר מקיף של הצומח בתת היער וכן נערכו מדידות תקופתיות בעצי היער הנטועים ומדידות אקלים ומיקרו אקלים ביער. בשנת 2011 נמשך המעקב אחר עצי היער הבוגר. בדו"ח מוצגות תוצאות המציגות את השפעת טיפולי הדילול על משק המים וגדילת העצים ועל תמותת עצים ביער. בשנת 2012 התבצעו בשטח המחקר סקר ביומסה עשבונית, סקר עצים בוגרים וסקר תמותת עצים. נמשך איסוף נתוני אקלים והחל סקר התחדשות וצומח מעוצה שימשיך במהלך 2013. בשנת 2013 נמשך ניטור שותף של מדדי אקלים, הושלמו סקרי התחדשות וצומח מעוצה שנערכו בכל שטח המחקר ונערך סקר עצי יער בוגרים. בדו"ח מוצגות תוצאות מצטברות של הדברים הבאים : א) עצי היער הנטועים – צמיחה, תמותת עצים ומאפייני העומד, ב) צומח תת-היער- התחדשות עצים, כיסוי צומח מעוצה ברמת המין, מגוון והרכב צומח כללי וביומסה עשבונית, ג) תנאי אקלים ביער – טמפרטורת אוויר, לחות יחסית, קרינה, משטר רוחות, גשם ואירועי שרב. בשנת 2014 בוצעו באתר המחקר הדברים הבאים : המשך מדידות אקלים, סקר עצים בוגרים (נטועים), סקר תמותת עצים (תמותה ומאפייני עצים מתים). מדידות LAI (TRAC), סקר מגוון צומח בשיטה היררכית, סקר ביומסה עשבונית וצילומים המיספריים בחלקות המחקר.

בשנת 2015 נמשכו מדידות אקלים, סקר עצים בוגרים, סקר תמותה, מדידות LAI, צילומים המיספריים ומדידות פוטנציאל מים טרם שחר בעצי היער הנטועים ובמספר מינים בתת היער. בפרק התוצאות מוצגות התוצאות שהצטברו עד תום שנת 2015.

מבוא

במסגרת תכנית זו הוקם אתר מחקר אקולוגי ארוך טווח (LTER- Long Term Ecological Research או בעברית מאא"ט – מחקר אקולוגי ארוך טווח) לחקר ממשק יער נטע אדם בישראל. בבסיס גישת ה-LTER עומדת השאיפה להבין טוב יותר את תפקודן של המערכות האקולוגיות ותגובתן לשינויים סביבתיים. גישת זו נולדה מתוך ההכרה שתהליכים אקולוגיים הם לרוב תהליכים ארוכי שנים ומשך הזמן הדרוש לשם הבנתם חורג במקרים רבים מטווח הזמן המקובל של תוכניות מחקר (כ- 3 שנים). המשמעות המעשית היא ניטור עקבי ומתמשך של מגוון מדדים ביוטיים ואביוטיים שיספקו מידע על שינויים החלים במערכת האקולוגית ויאפשרו בחינה אינטגרטיבית של הקשר בין שינויים אלה לבין גורמי סביבה שונים לרבות פעולות ממשק. הגורם העיקרי בו עוסק השלב הראשון של המחקר הוא עצמת דילול עצי היער. השליטה בצפיפות העצים בקומת היער העליונה היא כלי הממשק העיקרי המצוי בידי היערן להכוונת מבנה היער והשפעה על התנאים האביוטיים וזמינות המשאבים למרכיבי השונים של היער (Long et al. 2004, Niinemets and Vallaares 2004). גורמים אלה מכתיבים, במידה רבה, את התפתחות העצים ובריאותם, התחדשות היער, מבנה הצומח בתת היער, בעלי החיים המתקיימים בשטח ועוד.

מטרות המחקר

המחקר נועד לסייע בגיבוש תוכנית ממשק לעיצוב דור היערות הבא כיערות ברי-קיימא. "יער בר-קיימא" הוא יער בריא וחיוני המותאם לתנאי בית הגידול בו הוא מצוי, מתקיים ומתחדש באופן עצמי (מינימום התערבות ממשקית), מהווה בית גידול למגוון מינים גבוה ותומך במגוון פעילויות אנושיות מבלי לגרום נזק לאקוסיסטמות שכנות. ממאפייני יער בר-קיימא – התאמה לתנאי הסביבה, עמידות גבוהה בפני נגעים ופגעים, כושר חידוש עצמי, רמת כיסוי מתמשכת, מגוון גילי ומיני, תת יער מגוון ומפותח, רב שימושיות וערך אקולוגי, נופי וכלכלי חברתי גבוה. המחקר מתמקד ביערות אורן ירושלים בוגרים המהווים את המרכיב העיקרי של היערות הנטועים הבוגרים בישראל. באופן פרטני בוחן המחקר השפעות של טיפולי דילול חופת היער וטיפולי עיצוב תת היער על מגוון משתנים הקשורים לבריאות וחיוניות עצי היער, חידוש טבעי ומגוון ביולוגי ביער וזאת על מנת לפתח מתודולוגיה יערינית שתאפשר השגת המטרות הבאות:

1. הארכת אורך חיי הדור הנוכחי תוך שימור חיוניותו, ערכו הנופי ועמידותו בפני נגעים ופגעים
2. יצירת הדור הבא תוך התבססות ככל הניתן על תהליכים טבעיים ומינימום פגיעה בבית הגידול
3. העלאת המגוון הביולוגי ע"י טיפוח תת היער והעשרת מגוון מיני העצים רחבי עלים ים תיכוניים

שאלות המחקר

שאלות המחקר, הנגזרות ממטרות הממשק שפורטו, מתמקדות בשלב הראשון של המחקר בהשפעה ארוכת הטווח של עוצמת דילול חופת היער על:

- 1) חיוניות עצי היער,
- 2) מידת ההתחדשות של א. ירושלים,
- 3) מידת ההתחדשות של מיני עצים רחבי עלים ים תיכוניים,
- 4) המבנה והדינאמיקה של חברת הצומח בתת היער,
- 5) המגוון הביולוגי ביער.

המחקר חותר לשיפור ההבנה בנוגע למנגנונים והתהליכים ארוכי הטווח העומדים בבסיס השפעות הדילול על המשתנים שפורטו.

תכנית המחקר

אתר המחקר

אתר המחקר מורכב משטח ליבה בו יבחנו שאלות המחקר העיקריות ושטחי לוויין שיוגדרו בהמשך בהתאם למטרות מחקר משניות. המחקר נערך ביער אורן ירושלים, יער קדושים, המשתרע ממזרח לכביש שער הגיא-בית שמש (כביש 38) ומצפון לכביש צומת אשתאול-צובה באגן נחל שורק (אגן משנה נחל כיסלון). שטח הליבה ממוקם בשיפולים המערביים של היער בחלקה מספר 23 (עומד 112) שניטעה ב-1968. רמת המשקעים הממוצעת באזור כ-500 מ"מ לשנה. טופוגרפיה: רום האתר 390-510 מ' מעל פני הים. מפנים: דרומי, מערבי וצפוני בשיפוע ממוצע של כ-25%. גיאולוגיה: קנומן עליון וטורון. חברת יהודה דולומיט מסיבי (תצורת בינה) ע"ג גיר קשה

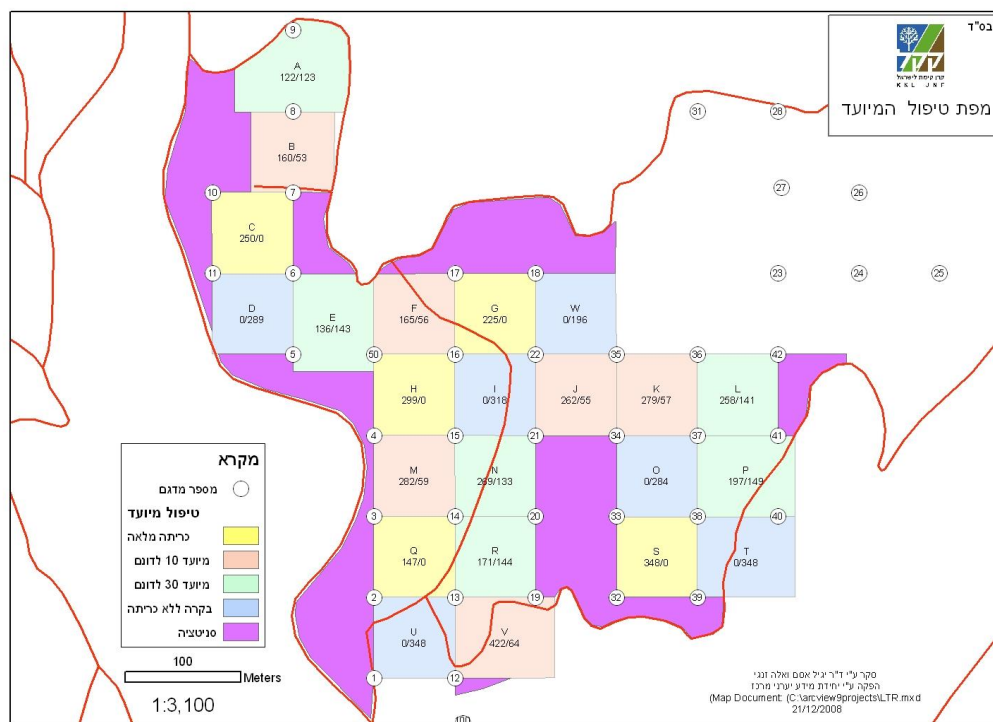
קרסטי (תצורת ורדים). נוכחות קטנה של קירטון שהפך לנארי. השטח אחיד, יחסית, מבחינה ליטולוגית ומתאפיין בשיעור כיסוי גבוה של סלע טרשי. קרקעות: טרה-רוסה חומה (ע"ג הדולומיט), טרה רוסה אדומה שטופה (ע"ג הגיר הקשה) ורנדזינה חומה מעורבת בטרסה רוסה (בסמוך לנארי). הקרקעות רדודות.

הגורמים הנבדקים במחקר

1. הגורם העיקרי - צפיפות היער: לשם בחינת גורם זה יטופלו חלקות המחקר כדלהלן: (א) ביקורת ללא דילול, (ב) 30 עץ/דונם (עומד סופי מקובל), (ג) 10 עץ/דונם (יער דליל) ו- (ד) כריתה מלאה.
2. גורם משני – הטיפול בתת היער: הטיפול בתת היער משמעותו עיצוב דור היער הבא בצד שימור ארוך טווח של הדור הנוכחי. הטיפולים הפרטניים בתת היער יקבעו על סמך הערכת ביניים של מצב תת היער בכל אחת מרמות הדילול. בין האפשרויות הקיימות: (א) זריעה או שתילה של עצים רחבי עלים, (ב) דילול זריעי אורנים מחידוש טבעי או לחליפין שתילת אורנים (במקרה של היעדר חידוש טבעי), (ג) שילובים שונים של הטיפולים הנ"ל ו- (ד) ללא טיפול (ביקורת).

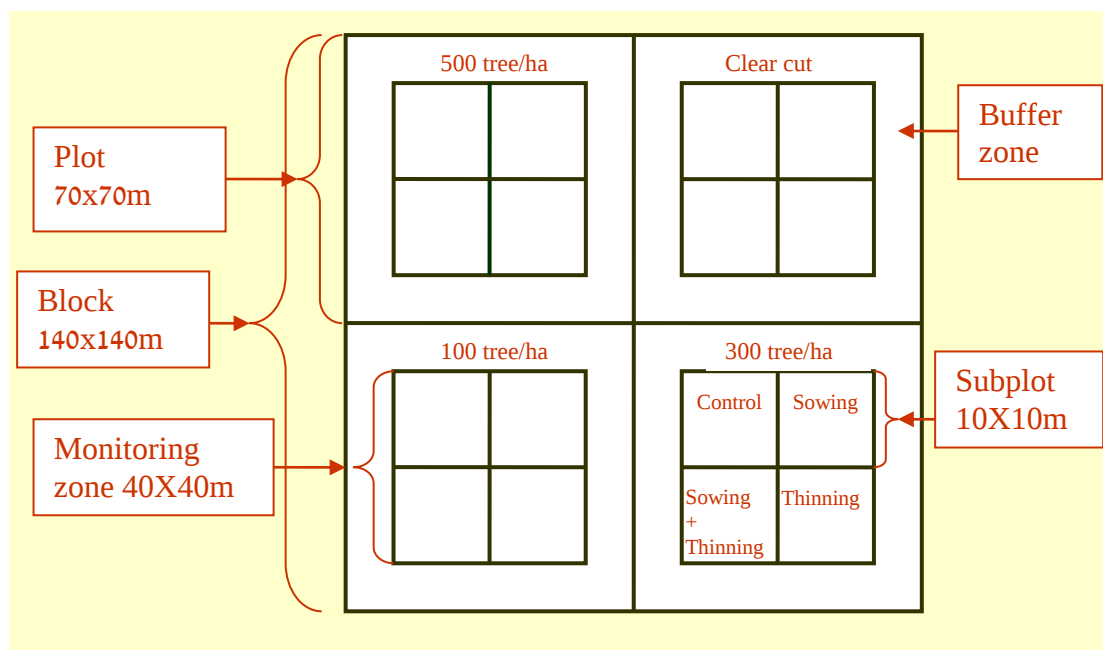
מבנה הניסוי

המבנה של הניסוי הוא מבנה של חלקות מפוצלות (split plot design) כאשר החלקות השלמות הנבדלות בעוצמת הדילול מפוצלות לתת חלקות בהן מתבצעים הטיפולים השונים בתת היער. שטח הליבה ייסגר בפני רעייה אך לא יגודר. השטח חולק לארבעה בלוקים. בכל בלוק ארבע או יותר חלקות ניסוי (5 דונם לחלקה, 70 X 70 מ') ברמות דילול שונות. בקביעת הטיפול המיועד לכל חלקה נלקחה בחשבון גם השונות בצפיפות היער הנוכחית (איור 1).



איור 1: מערך חלקות הניסוי באתר ה-LTER ביער קדושים

- בכל חלקה הוגדר שטח ניטור (40 X 40 מ') עם שוליים ברוחב 15 מטר (למניעת אפקט שוליים). שטח הניטור יחולק בהמשך לארבע תת חלקות (20 X 20 מ') בהן יבוצעו טיפולי תת-היער (איור 2).
2. הטיפולים בתת היער יבוצעו לאחר כ- 3 שנים מהדילול. החלטה סופית לגבי הטיפולים בתת היער תתקבל על סמך הנתונים לגבי מצב תת היער בטיפולי הדילול השונים.



איור 1: מבנה סכמאטי של בלוק אחד מתוך ארבעה באתר ה-LTER ביער קדושים

שתי חלקות לווין המצויות בסמוך לשטח הליבה נכללות כבר במערך המחקר הראשוני: (א) חלקת אורן ירושלים דלילה (צפיפות נוכחית 25-35 עץ/דונם, שטח 31 דונם). יבחנו העצים הבוגרים, החידוש הטבעי ותת היער בהשוואה לחלקות אורן ירושלים בנות צפיפות דומה שדוללו בתחילת הניסוי).

(ב) חלקה חשופה שלא ניטעה. ייבחנו מבנה חברת הצומח הטבעי ותכונות הקרקע בהשוואה לתת היער בחלקות הנטועות ובהשוואה לחלקות שעברו כריתה מלאה.

פירוט המדדים

טבלה 1: רשימת מדדים לניטור ארוך טווח ביער קדושים.

תחום	מדד	שיטה
תנאי אקלים בשטח פתוח	משקעים, טמפ', לחות, רוח, קרינה	תחנה מטאורולוגית קבועה המוצבת בשטח פתוח בסמוך לאתר המחקר.
תנאי אקלים בחלקות הניסוי	טמפ', לחות, קרינה, רוח	תחנות מדידה ניידות
קרקע	לחות קרקע	(בתכנית מחקר נפרדת)
נגר עילי	מינרלים, חומר אורגני	דגימות קרקע
חיוניות ויצרנות עצי היער ומאפייני העומד	קוטר הגזע, גובה, אורך ורוחב נוף, צבע עלווה, כיסוי צמרות, אינדקס שטח עלה	עצים קבועים פעם בשנה, דנסיומטר, TRAC
	רוחב טבעות שנתיות	קידוח אחת ל-5 שנים
	כיסוי צמרות	
	מאזן מים בגזע	(בתכנית מחקר נפרדת)
	פוטנציאל מים במחטים	אחת לכמה שנים (בתכנית מחקר נפרדת)
התחדשות טבעי	פיזור זרעים	מלכודות זרעים (בתכנית נפרדת)
	עצים בתת היער	סקר צפיפות זרעים
	התפתחות עצים מתחדשים	גובה, קוטר גזע, נוף
מגוון ומורכבות	כיסוי, הרכב ועושר מינים	סקרי צומח
	בתת היער צומח בתת היער	ע"פ כיסוי וגובה באביב
	ייצור עשבוני	

(תכנית מחקר נפרדת)	הרכב ומגוון קבוצות טקסונומיות שונות : דבורי בר, נמלים, שלשולים	
צילום מנקודה קבועה ביער	מראה פנים	נוף וארכיטקטורה
תצ"א אחת למספר שנים	מראה על	
(בתכנית נפרדת)	תהליכי פרוק	פעילות אקוסיסטמית

התקדמות בשנת 2008

בשנת 2008, שנת המחקר הראשונה, מתבצעים סקרים מקדימים בהם נמדדים המדדים המתארים את מצב עצי היער, הצומח בתת-היער והמגוון ביולוגי בחלקות טרם ביצוע טיפולי הדילול. הסקרים המקדימים כוללים (1) צומח עשבוני – הרכב ומגוון (בוצע במהלך אביב 2008) צומח מעוצה בתת היער – כיסוי, צפיפות, הרכב ומגוון (התבצע בסתיו 2008), (3) התחדשות א. ירושלים – צפיפות וגודל זריעים מבוססים (התבצע בסתיו 2008), (4) עצים בוגרים – קוטר גזע, גובה, גודל הנוף הירוק (אורך ורוחב) כיסוי הנוף (LAI) ושיעור נגיעות במצוקוס, חיפושית קליפה ותהלוכה האורן (סתיו-חורף 2008), (5) סקר פרוקי רגליים - סקר פרוקי הרגליים בחלקות ה-LTER בקדושים מהווה חלק ממערך סקרים המתבצע במגוון בתי גידול בישראל כחלק מפרויקט המארג העוסק בניטור מגוון ביולוגי (התבצע באביב 2008). כמוכן, התבצע סימון מקדים לצורך טיפולי הדילול ונרכשה תחנה מטאורולוגית שתוצב באתר עם סיום עבודת הדילול.

התקדמות ותוצאות ראשוניות בשנת 2009

בשנת 2009 נעשו בשטח המחקר הדברים הבאים :

- 1) סקר מגוון צומח : הסקר התבצע בכל חלקות המחקר כולל חלקות מחוץ לשטח הנטוע.
- 2) מדידות עצים : התבצע סקר אינוונטר מקיף בו נמדדו גובה, קוטר גזע (DBH) וקוטר צמרות בכל חלקות הניסוי. בסקר נדגמו בנפרד אוכלוסיית העצים היוצאים (בדילול) ואוכלוסיית העצים הנשארים. נתונים אלה נועדו על מנת לייצר תמונה כמותית של מצב העצים ההתחלתי (לפני הדילול) וגם על מנת לאמוד באופנים שונים את עצמת הדילול שבוצע.
- 3) דילול : במהלך אוגוסט-ספטמבר דוללו חלקות הניסוי על פי מתווה הניסוי. החומר הכרות נגרר אל מחוץ לחלקות הניסוי על ידי כבל ללא כניסה של הטרקטור לשטח החלקות (למעט מיקרים יוצאי דופן בהם אושרה כניסה לאורך הגבול בין חלקות). שיטת הגרירה תוכננה כך על מנת לגרום להפרעה אחידה על פני השטח להבדיל מיצירת פסי גרירה היוצרים שונות גדולה במידת ההפרעה.

להלן נתוני העצים היוצאים והנשארים בחלקות הניסוי :

טבלה 2: נתוני העצים בחלקות המחקר על פי הטיפולים : דילול לעשרה עצים לדונם (10/dunam), דילול לשלושים עצים לדונם (30/dunam), כריתה מלאה (clearcut), בקרה ללא דילול (control). עבור כל טיפול מוצגים נתוני העצים הנכרתים (out), העצים הנותרים (stay) והנתון הממוצע לכל העצים בחלקה (weighted mean)

Treatment	out/stay	Mean Tree height m	SE Tree height m	Mean DBH cm	SE DBH cm	Mean Green crown ratio	SE Green crown ratio	Mean Green Diameter m	SE Green Diameter m	Plot Basal area/dunam (m ² /dunam)	Plot Green Cover/dunam (M ² /dunam)
10/dunam	out	12.290	0.220	16.03	1.09	0.514	0.019	3.049	0.130	3.98	693.82
10/dunam	stay	13.112	0.265	25.18	1.83	0.616	0.017	5.002	0.211	1.90	240.31
10/dunam	w. mean	12.315	0.319	17.628	1.225	0.532	0.033	3.120	0.217	Total 5.88	Total 934.1
30/dunam	out	11.840	0.236	15.20	1.13	0.515	0.024	2.850	0.137	2.69	454.86
30/dunam	stay	13.260	0.267	22.94	1.26	0.598	0.014	4.893	0.185	2.50	362.21
30/dunam	w. mean	12.450	0.885	16.170	1.073	0.553	0.061	3.220	0.428	Total 5.19	Total 817.00
ClearCut	out	11.915	0.230	17.998	1.426	0.617	0.024	3.545	0.151	5.16	862.35
ClearCut	stay										
ClearCut	w. mean	11.952	0.296	17.998	1.426	0.622	0.018	3.544	0.162	Total 5.16	Total 862.35
Control	out										
Control	stay	11.771	0.166	20.258	1.013	0.583	0.009	3.978	0.121	6.52	857.62
Control	w. mean	11.755	0.444	20.258	1.013	0.592	0.022	4.070	0.293	Total 6.52	Total 857.62

התקדמות 2010

בשנת 2010 התבצעו במסגרת המחקר הדברים הבאים :

- (1) סקר צומח מעוצה והתחדשות בתת היער בחלקות המחקר
- (2) סקר אלונים גדולים (בגובה מעל שלושה מטר) ביער ובסביבתו הקרובה (עד 50 מ' מגבול החלקות)
- (3) מדידות צימח, משק מים ותמותה בעצי היער הנטועים
- (4) מדידות אקלים ומיקרואקלים ביער

התקדמות 2011

בשנת 2011 התבצעו במסגרת המחקר הדברים הבאים :

- (1) סקר מגוון צומח בשיטה היררכית בכל חלקות הניסוי
- (2) מדידות אקלים ומיקרואקלים ביער
- (3) משק המים של עצי היער הבוגר
- (4) סקר עצים בוגרים
- (5) סקר תמותת עצים
- (6) מדידות LAI

התקדמות 2012

בשנת 2012 התבצעו הדברים הבאים :

- (1) סקר ביומסה עשבונית בכל חלקות המחקר
- (2) מדידות אקלים (גשם, רוח, קרינה, טמפרטורה ולחות יחסית)
- (3) סקר עצים בוגרים (קוטר גזע, גובה וקוטר צמרת)
- (4) סקר תמותת עצים (תמותה ומאפייני עצים מתים)
- (5) מדידות LAI (TRAC)
- (6) תחילת סקר התחדשות וצומח מעוצה שימשך ב- 2013.

התקדמות 2013

בשנת 2013 התבצעו הדברים הבאים :

- (1) השלמת סקרי התחדשות וצומח מעוצה בתת היער.
- (2) המשך מדידות אקלים (גשם, רוח, קרינה, טמפרטורה ולחות יחסית)
- (3) סקר עצים בוגרים (קוטר גזע, גובה וקוטר צמרת)
- (4) סקר תמותת עצים (תמותה ומאפייני עצים מתים)
- (5) מדידות LAI (TRAC)
- (6) צילום אוויר טרמי של כל שטח המחקר וביצוע במקביל של מדידת מוליכות פיוניות במחסים

התקדמות 2014

בשנת 2014 התבצעו הדברים הבאים :

- (1) המשך מדידות אקלים (גשם, רוח, קרינה, טמפרטורה ולחות יחסית)
- (2) סקר עצים בוגרים (קוטר גזע, גובה וקוטר צמרת)
- (3) סקר תמותת עצים (תמותה ומאפייני עצים מתים)
- (4) מדידות LAI (TRAC)
- (5) סקר מגוון צומח בשיטה היררכית בכל חלקות הניסוי
- (6) סקר ביומסה עשבונית בכל חלקות המחקר
- (7) צילומים המיספריים בחלקות המחקר

התקדמות 2015

בשנת 2015 התבצעו הדברים הבאים :

- (1) המשך מדידות אקלים (גשם, רוח, קרינה, טמפרטורה ולחות יחסית)
- (2) סקר עצים בוגרים (קוטר גזע, גובה וקוטר צמרת)

- (3) סקר תמותת עצים (תמותה ומאפייני עצים מתים)
- (4) מדידות LAI (TRAC)
- (5) צילומים המיספריים בחלקות המחקר
- (6) מדידות פוטנציאל מים טרום שחר

תוצאות מעודכנות לשנת 2015

להלן סיכום התוצאות המצטברות של המחקר. התוצאות ערוכות כמצגת לנוחיות הקורא. מימין לכל גרף מצורף הסבר קצר על הממצאים. מוצגים נתוני העצים הנטועים, נתוני אקלים רב שנתיים ונתונים על הצומח בתת היער ועל התחדשות טבעית של אורנים ואלונים.

מטרות המחקר

המחקר נועד לסייע בגיבוש תוכנית ממשק לעיצוב דור היערות הבא כיערות ברי-קיימא. המחקר מתמקד ביערות אורן ירושלים בוגרים המהווים את המרכיב העיקרי של היערות הנטועים הבוגרים בישראל. באופן פרטני בוחן המחקר השפעות של טיפולי דילול חופת היער וטיפולי עיצוב תת היער על מגוון משתנים הקשורים לבריאות וחיוניות עצי היער, חידוש טבעי ומגוון ביולוגי ביער וזאת על מנת לפתח מתודולוגיה יערנית שתאפשר השגת המטרות הבאות:

- ☐ הארכת אורך חיי הדור הנוכחי תוך שימור חיוניותו, ערכו הנופי ועמידותו בפני נגעים ופגעים.
- ☐ יצירת הדור הבא תוך התבססות ככל הניתן על תהליכים טבעיים ומינימום פגיעה בבית הגידול.
- ☐ העלאת המגוון הביולוגי ע"י טיפוח תת היער והעשרת מגוון מיני העצים רחבי עלים ים תיכוניים.

שאלות המחקר

שאלות המחקר, הנגזרות ממטרות הממשק שפורטו, מתמקדות בשלב הראשון של המחקר בהשפעה ארוכת הטווח של עוצמת דילול חופת היער על:

☐ חיוניות עצי היער

☐ מידת הנגיעות של העצים במחלות ומזיקים

☐ מידת ההתחדשות של א. ירושלים

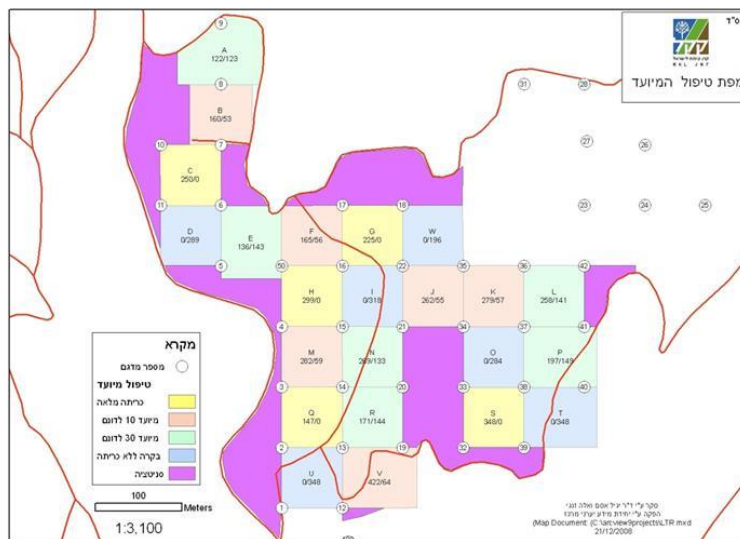
☐ מידת ההתחדשות של מיני עצים רחבי עלים ים תיכוניים

☐ מבנה צומח תת היער

☐ המגוון הביולוגי ביער

מבנה הניסוי

המבנה של הניסוי הוא מבנה של חלקות מפוצלות (split plot design) כאשר החלקות השלמות הנבדלות בעוצמת הדילול מפוצלות לתת חלקות בהן מתבצעים הטיפולים השונים בתת היער. השטח חולק לארבעה בלוקים. בכל בלוק ארבע או יותר חלקות ניסוי (5 דונם לחלקה, 70X 70 מ') ברמות דילול שונות. (איור 1).



איור 1: מערך חלקות הניסוי באתר ה-LTER ביער קדושים



צילום אוויר של חלקות הניסוי ביער הקדושים. קיץ 2009.

□ גובה העצים הממוצע בחלקות הניסוי נע בין 11.8 ל- 13 מ'. העצים הנשארים גבוהים יותר ב- 80 ס"מ בקירוב בהשוואה לעצים שנכרתו.

□ קוטר הגזע הממוצע בחלקות נע בין 17.8 ל- 20.3 ס"מ. הקוטר הממוצע של העצים הנשארים גבוה יותר ב- 7 ס"מ בקרוב מזה של העצים הנכרתים.

□ יחס גובה נוף ירוק לגובה העץ (green crown ratio) דומה בין החלקות ונע בין 0.52 ל- 0.62. יחס זה מעט גבוה יותר בעצים נשארים מאשר בעצים הנכרתים.

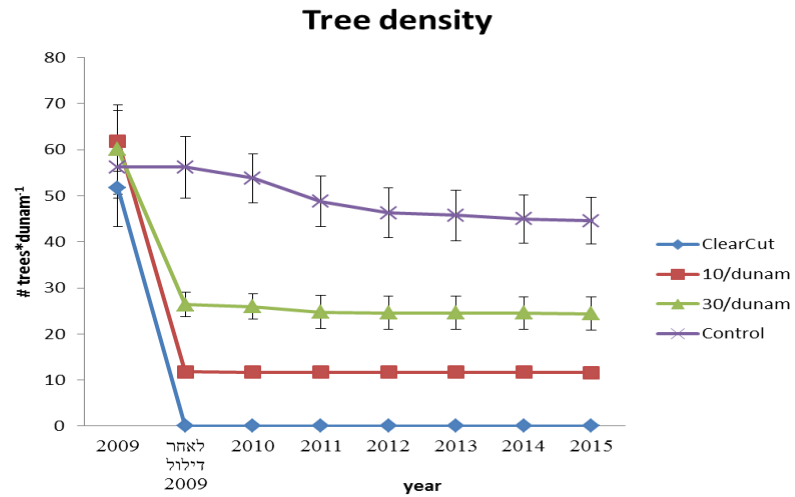
□ שטח הכיסוי הירוק הממוצע לעץ נע בין 3.4 ל- 4 מ"ר. גם מדד זה גבוה יותר בעצים הנותרים ובמידה די משמעותית בטיפול 10/דונם.

□ שטח הבסיס (basal area) בחלקות השונות נע בין 1.38 ל- 2.3 מ"ר/דונם ושטח הכיסוי של נוף ירוק נע בין 804 ל- 1052 מ"ר/דונם.

□ אפקט הדילול: ניתן לראות כי הדילול גרם להוצאה של 65% משטח הבסיס (basal area) בטיפול 10/דונם ולעומת זאת הוצאה של 34% בלבד משטח הבסיס בטיפול 30/דונם. בנוסף הדילול גרם להוצאת 75% משטח כיסוי הצמרות בטיפול 10/דונם לעומת 53% בטיפול 30/דונם.

צפיפות העצים בחלקות היער

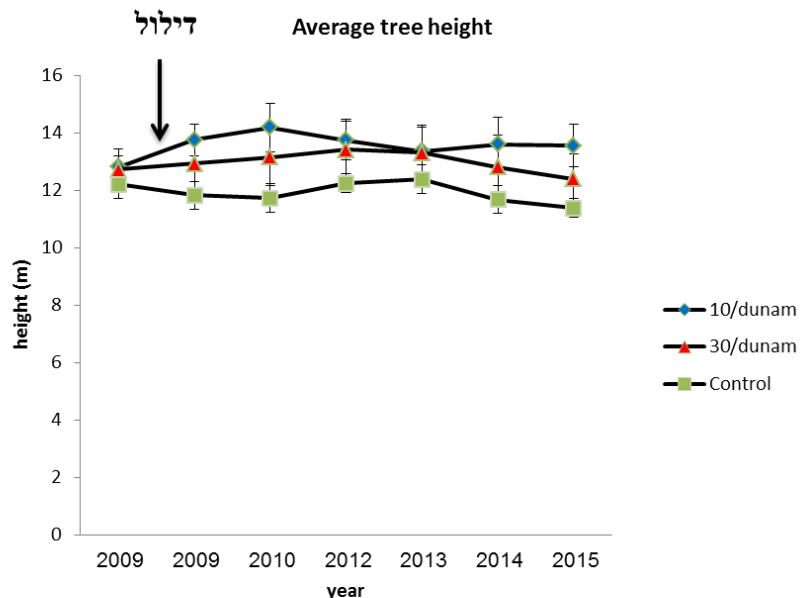
צפיפות העצים ביער לפני הכריתה הייתה דומה בין חלקות הטיפולים טרם הדילול למעט החלקות המיועדות לכריתה מלאה שהיו מעט דלילות יותר. לאחר הדילול ב-2009, צפיפות העצים מייצגת את עוצמות הדילול: 10 עצים לדונם, 30 עצים לדונם וחלקות בקרה שצפיפות העצים בהם הוא כ-55 עצים לדונם בממוצע. הירידה בצפיפות העצים לאורך השנים נובעת מתמותת העצים. עיקר התמותה חל בחלקות הבקרה.



איור מס' 2: צפיפות העצים לדונם לפני הדילול (קיץ 2009) מיד לאחר הדילול (סתיו 2009) ובמשך שש שנים לאחר הדילול (2010-2015).

גובה עצים נטועים ביער

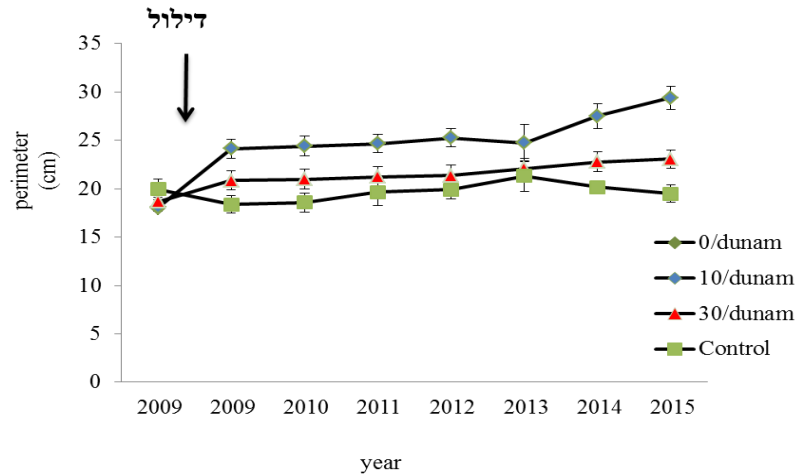
גובה העצים נע בין 11 ל-14 מ' בממוצע. לפני הדילול לא ניתן לראות הבדל משמעותי בגובה העצים. לאחר הדילול, הגובה הנמוך יותר, המתקבל בחלקות הביקורת נובע מכך שלא התבצעה בחלקות הללו כל סלקציה.



איור מס' 3: גובה עץ ממוצע לפני הדילול (קיץ 2009), אחרי הדילול (סתיו 2009) ובמשך שש שנים לאחר הדילול (קיץ 2010-2015). הממוצע לפני הדילול חושב ממדגם שכלל עצים שנכרתו. הממוצע לאחר הדילול חושב ממדגם זה של עצים שהושארו לאחר הדילול, להוציא את העצים שמתו במהלך השנים.

היקף גזע עצים ביער

Average perimeter

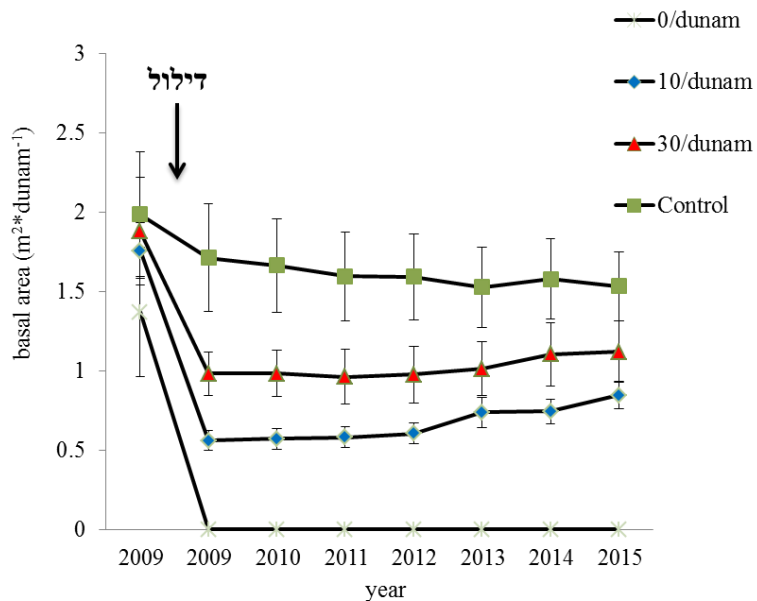


ההבדל בין הטיפולים שנראה לאחר הדילול נובע מאפקט הסלקציה שהיה רב יותר ככל שהדילול חזק יותר. עד 2013 ניתן לראות עלייה מתונה והדרגתית בקוטר גזע העצים בכל הטיפולים. בשנת 2014 חלה עלייה גדולה יחסית בחלקות ה-10 עצים לדונם וירידה בחלקות הביקורת. ממוצע הקוטר מושפע הן מגידול בהיקף הגזע והן מתמותת העצים קטנים יחסית שיצאו מהמדגם.

איור מס' 4: קוטר גזע ממוצע לפני הדילול (קיץ 2009), מיד לאחר הדילול (סתיו 2009) ובמשך שש שנים אחריו (קיץ 2010-2015). הממוצע לפני הדילול חושב ממדגם שכלל עצים שנכרתו. הממוצע לאחר הדילול חושב ממדגם זהה של עצים שהושארו לאחר הדילול, להוציא את העצים שמתו במהלך השנים. בשנת 2013 שיטת המדידה השתנתה (ההיקף נמדד עם סרט מדידה ולא עם הדנדומטרים).

שטח בסיס גזעים כולל

Average basal area

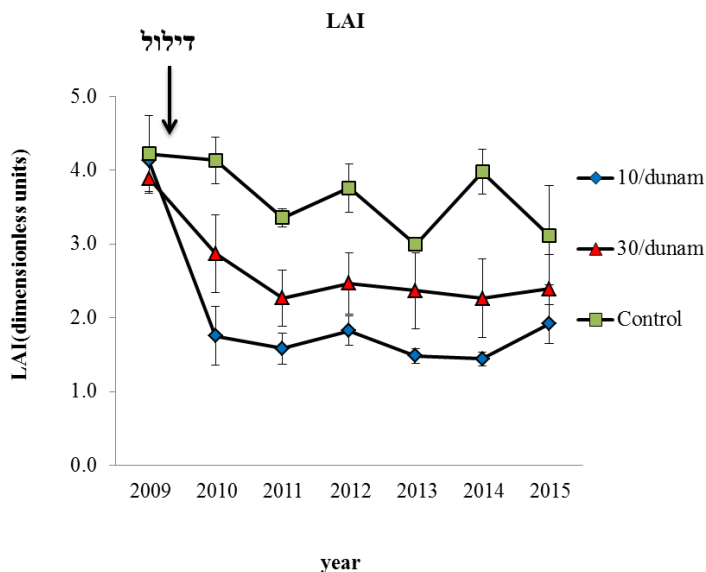


שטח בסיס גזעים כולל לחלקה לפני הדילול ב- 2009 נע בין 1.37 ל- 1.99 מטר רבוע לדונם וב- 2009 לאחר הדילול בין 0.56 ל- 1.66 מטר רבוע לדונם. אפשר לראות ששטח בסיס הגזעים היה דומה בין חלקות הטיפולים טרם הדילול למעט החלקות המיועדות לכריתה מלאה שהיו מעט נמוכות יותר. ההבדלים בין נתוני 2009 שלפני הדילול מייצגים את אפקט הדילול. ההבדל בנתוני הבקרה בין נתוני 2009 לפני הדילול נובע מגודל מדגם שונה. אפשר לראות שבחלקות הבקרה ישנה ירידה מתונה בשטח בסיס הגזעים הכולל. בחלקות של 30 עצים לדונם אין שינוי עד 2012 ומ- 2012 חלה עלייה מתונה ובחלקות של 10 עצים לדונם ישנה עלייה מתונה. שטח בסיס הגזעים הכולל, מושפע הן מגידול בהיקף הגזע והן מתמותת העצים.

איור מס' 5: שטח בסיס גזעים כולל ממוצע לפני דילול (קיץ 2009) ולאחריו (2009-2015). ממוצע לפני הדילול, חושב מתוך נתוני עצי המדגם הקבועים, מנתוני עצי מדגם חד-פעמיים ומנתוני עצי מדגם שנכרתו. שאר הנתונים נלקחו מנתוני עצי המדגם הקבועים בלבד, להוציא עצי מדגם שמתו במהלך השנים.

אינדקס שטח עלווה של עצי היער

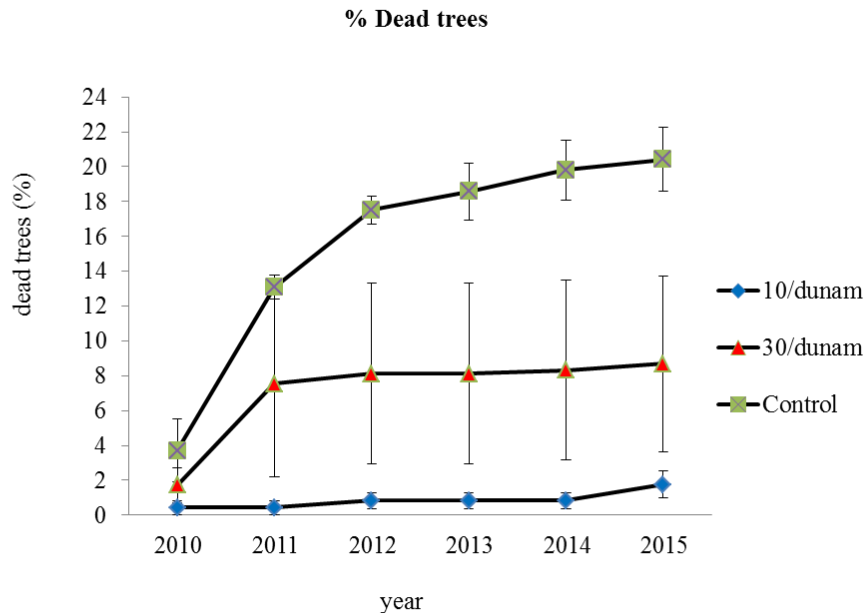
אינדקס שטח פני העלווה מייצג את הנוף ברמת העומד. אפשר לראות שנוף היער היה דומה בין הטיפולים טרם הדילול. ההבדלים בין 2009 ל-2010 מייצגים את אפקט הדילול. הירידה ב-LAI בשנת 2011 נבעה משילוב של עונה יבשה ותמותת העצים ביער. שנת 2012 הייתה גשומה יותר וזו כנראה הסיבה לעלייה ב-LAI ואילו בשנת 2013, שהייתה פחות גשומה חלה ירידה ב-LAI. בשנת 2014 ייתכן וחלה טעות במדידת חלקות הביקורת.



איור מס' 6: אינדקס שטח עלווה לפני הדילול (יוני 2009) ושש שנים אחריו (יוני 2010-2015).

תמותת עצים ביער

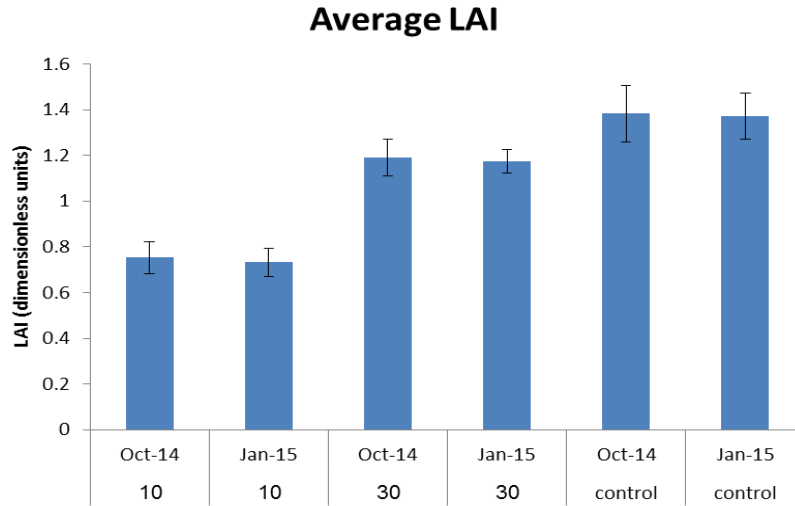
שעור התמותה נמוך יותר בכל שהדילול חזק יותר. בשנים 2011, ואילך הבדלים אלו נמצאו מובהקים. ערכי השונות הגדולים בטיפול של 30 עצים לדונם נגרמו כתוצאה מתמותה כיתמית באזור מסוים.



איור מס' 7: שיעור תמותת עצים ביער במשך שש שנים לאחר הדילול (2010-2015).

אינדקס שטח עלווה של עצי היער LAI מצילומים המיספריים

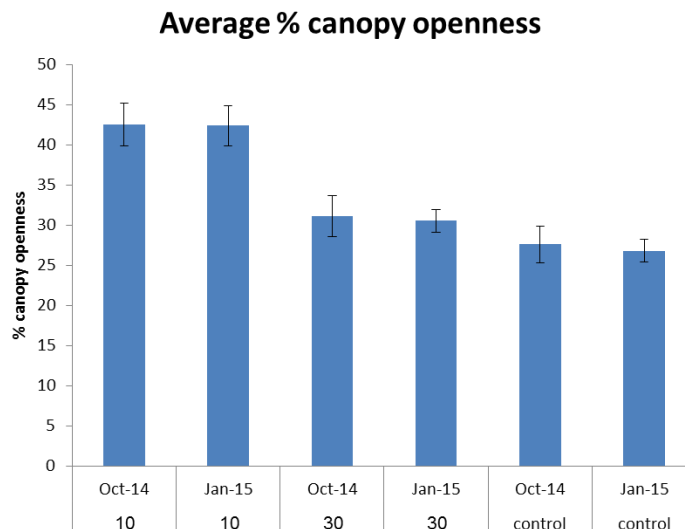
אינדקס שטח פני
העלווה מייצג את
הנוף ברמת העומד.
הנתונים חושבו
מזווית הזנית בין
0-60°.
ההבדלים בין
הטיפול השונים
מובהקים.



איור מס' 8: הממוצע חושב מארבע חלקות עבור כל טיפול ובכל חלקה נערכו תשעה צילומים (סה"כ 27 צילומים). עיבוד הנתונים נעשה בתוכנת GLA. הצילומים התבצעו בחודש אוקטובר 2014 ובינואר 2015.

אחוז מפתח השמיים

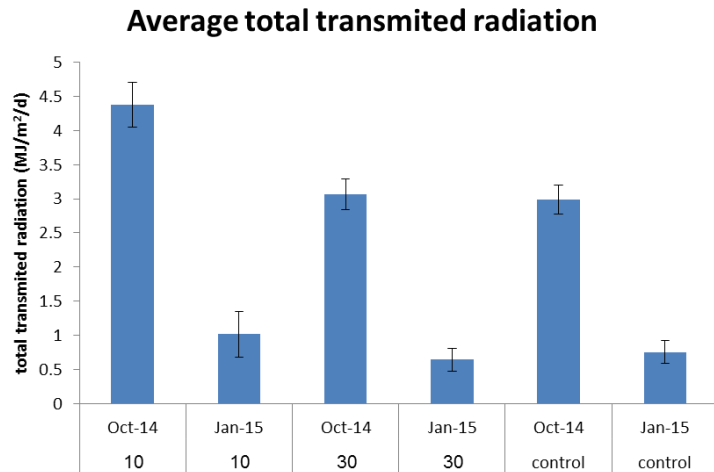
אחוז מפתח
השמיים מייצג את
ממוצע אחוז
השמיים הנראים
מנקודות הצילום
בתת היער.
ההבדלים בין
הטיפולים השונים
מובהקים.



איור מס' 9: הממוצע חושב מארבע חלקות עבור כל טיפול ובכל חלקה נערכו תשעה צילומים (סה"כ 27 צילומים). עיבוד הנתונים נעשה בתוכנת GLA. הצילומים בוצעו בחודש אוקטובר 2014 ובינואר 2015.

עבירות קרינה בתת-יער

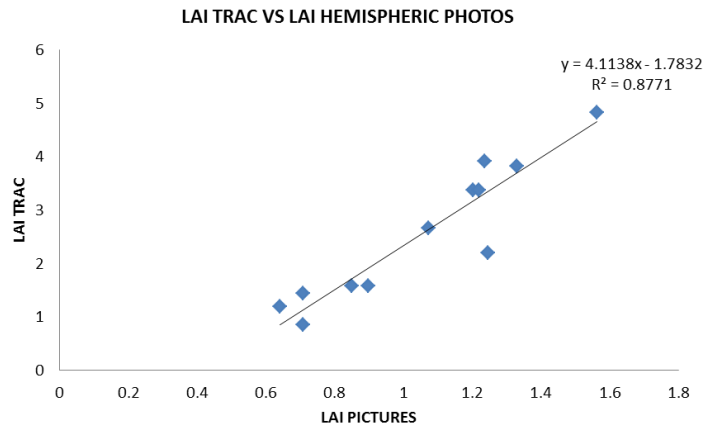
ממוצע עבירות
הקרינה שחושב
מנקודות הצילום
בתת היער. ההבדל
בין טיפול ה-10
עצים לדונם לשאר
הטיפולים מובהק
וההבדל בין
החודשים מובהק.



איור מס' 10: הממוצע חושב מארבע חלקות עבור כל טיפול ובכל חלקה נערכו תשעה צילומים (סה"כ 27 צילומים). עיבוד הנתונים נעשה בתוכנת GLA. הצילומים בוצעו בחודש אוקטובר 2014 ובינואר 2015.

קשר בין מדידת אינדקס שטח עלווה באמצעות מכשיר הטראק לבין חישובו מצילומים המיספריים

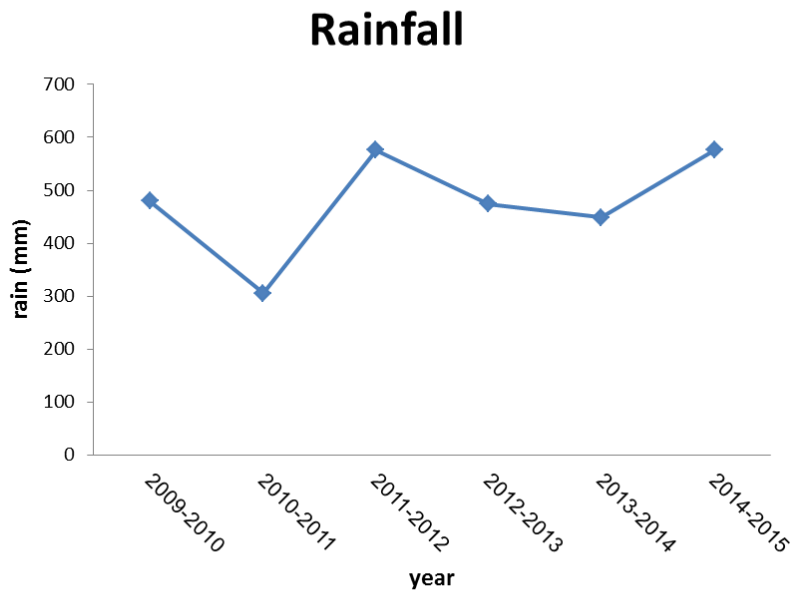
קיים קשר לינארי
בין שתי שיטות
המדדה.



איור מס' 11: ממוצע ה-LAI מהצילומים חושב מארבע חלקות עבור כל טיפול ובכל חלקה נערכו תשעה צילומים (סה"כ 27 צילומים). עיבוד הנתונים נעשה בתוכנת GLA. הצילומים בוצעו בחודש אוקטובר 2014. ממוצע ה-LAI נמדד באמצעות מכשיר הטראק לאורך טרנסקטים בחלקות.

גשם שנתי

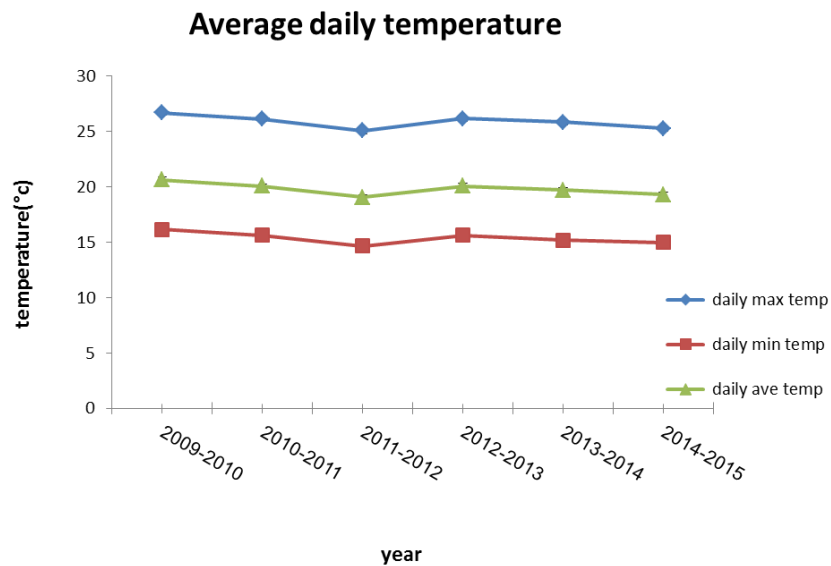
כמות הגשם
בשנתיים
הראשונות ובשנה
הרביעית
והחמישית הייתה
נמוכה מהממוצע
הרב שנתי (כ-
550 מ"מ לשנה).
בשנה השלישית
והשישית הייתה
מעט מעל
הממוצע.



איור מס' 12: כמות גשם שנתי בעונות שנמדדו מאז הדילול ב-2009.

טמפרטורה יומית

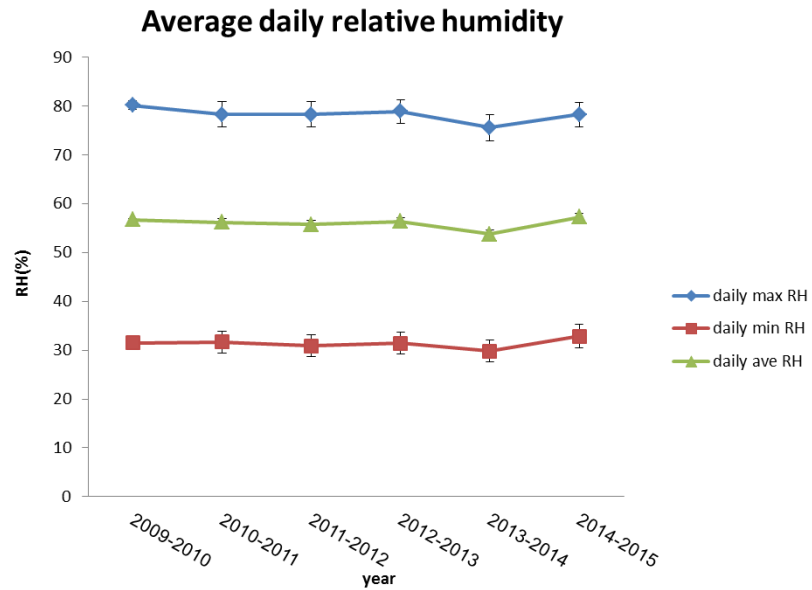
הטמפרטורה
ביער קדושים
נעה בממוצע בין
כ- 25 מעלות
בשעות החמות
ביום לבין כ- 15
מעלות בשעות
הקרות ביום. לא
נמצאו הבדלים
משמעותיים בין
השנים.



איור מס' 13: ממוצע של הטמפרטורה היומית הממוצעת, המקסימאלית והמינימאלית בשנים 2009-2015.

לחות יחסית

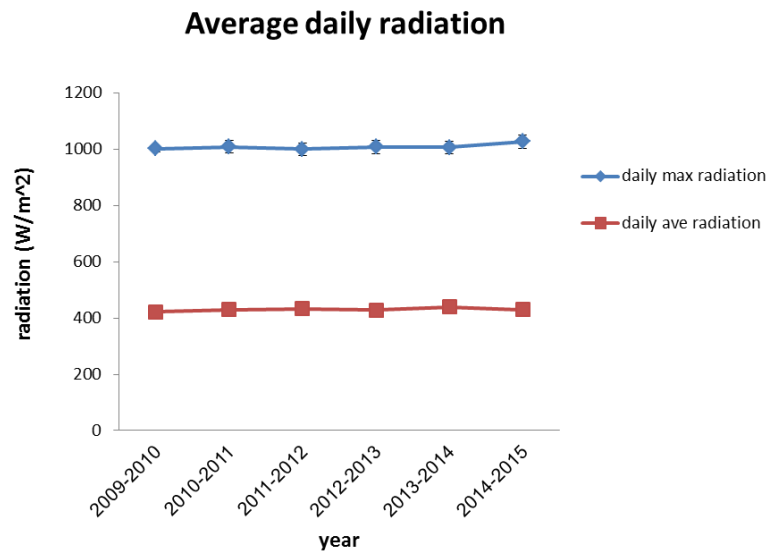
הלחות היחסית ביער נעה בממוצע בין כ- 80% בשעות שיא הלחות לבין כ- 30% בשעות שיא היובש. לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין השנים.



איור מס' 14: ממוצע של הלחות היחסית היומית הממוצעת, המקסימאלית והמינימאלית בשנים 2009-2015.

קרינה

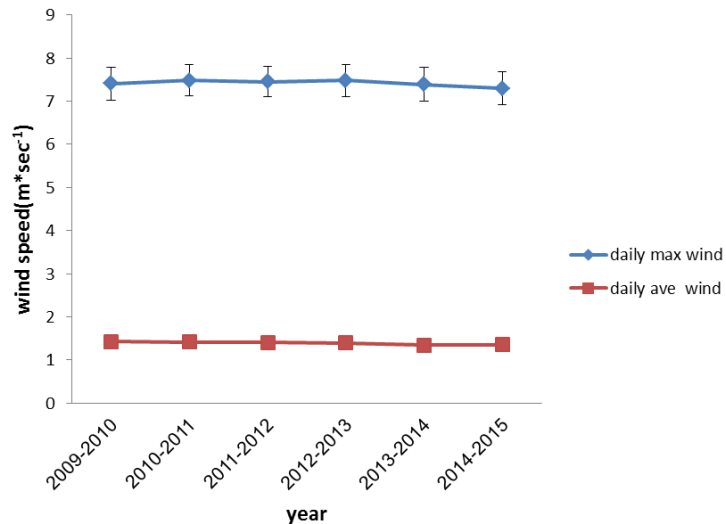
עצמת הקרינה ביער הקדושים בשעות שיא הקרינה כ- 1000 וואט למ"ר בממוצע. עוצמת הקרינה היומית הממוצעת כ- 430 וואט למ"ר. לא נמצאו הבדלים משמעותיים בין השנים.



איור מס' 15: ממוצע של עצמת הקרינה היומית הממוצעת, והמקסימאלית בשנים 2009-2015.

מהירות רוח

Average daily wind speed

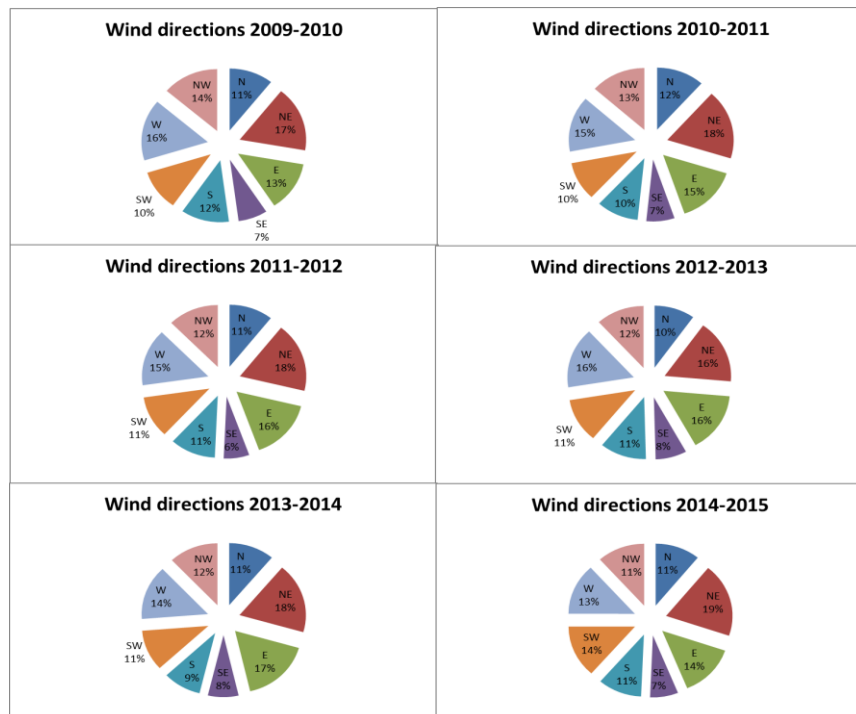


עצמת הרוח ביער
הקדושים בשעות
שיא הרוח כ- 7.4
מ' לשנייה בממוצע.
עוצמת הרוח
היומית הממוצעת
כ- 1.40 מ'
לשנייה. לא נמצאו
הבדלים
משמעותיים בין
השנים.

איור מס' 16: ממוצע של עצמת הרוח היומית הממוצעת, והמקסימאלית בשנים 2009-2015.

התפלגות כיווני הרוח

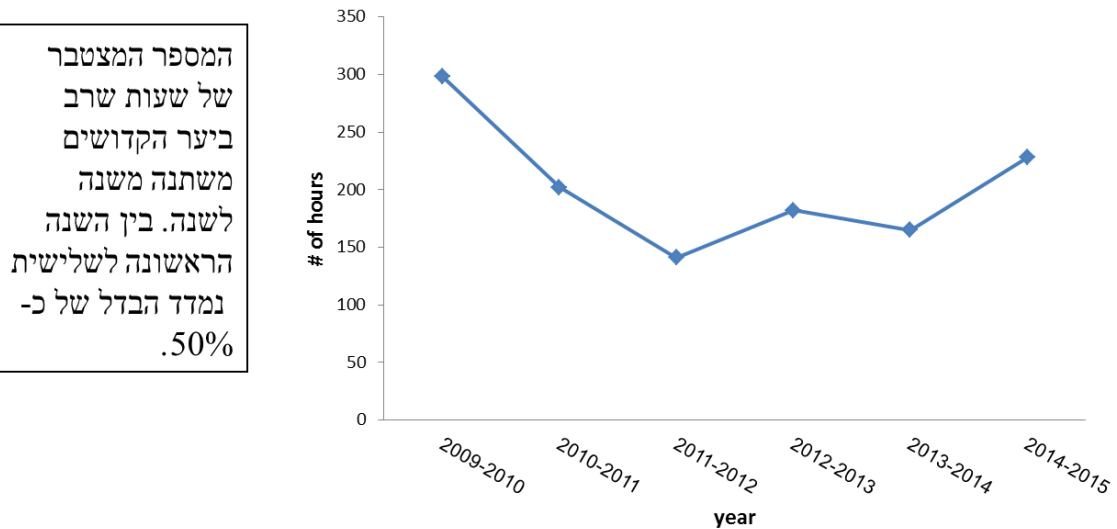
כ-40% מהרוחות ביער
הקדושים הן
בעלות
אוריאנטציה
מערבית וכ-
40% מהן בעלות
אוריאנטציה
מזרחית. לא
נמצאו הבדלים
משמעותיים בין
השנים.



איור מס' 17: התפלגות כיווני הרוח בשנים 2009-2015

שעות שרב

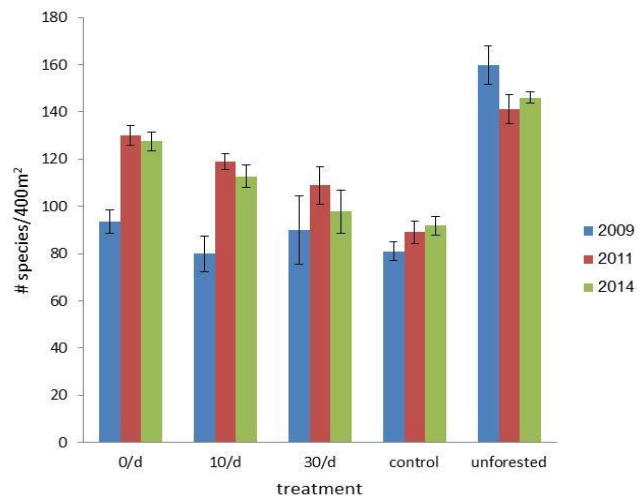
Hot dry spells



איור מס' 18: מספר שעות השרב (טמפרטורה מעל 30 מעלות ולחות יחסית מתחת ל-25%) בשנים 2009-2015

צומח בתת היער עושר מינים כללי

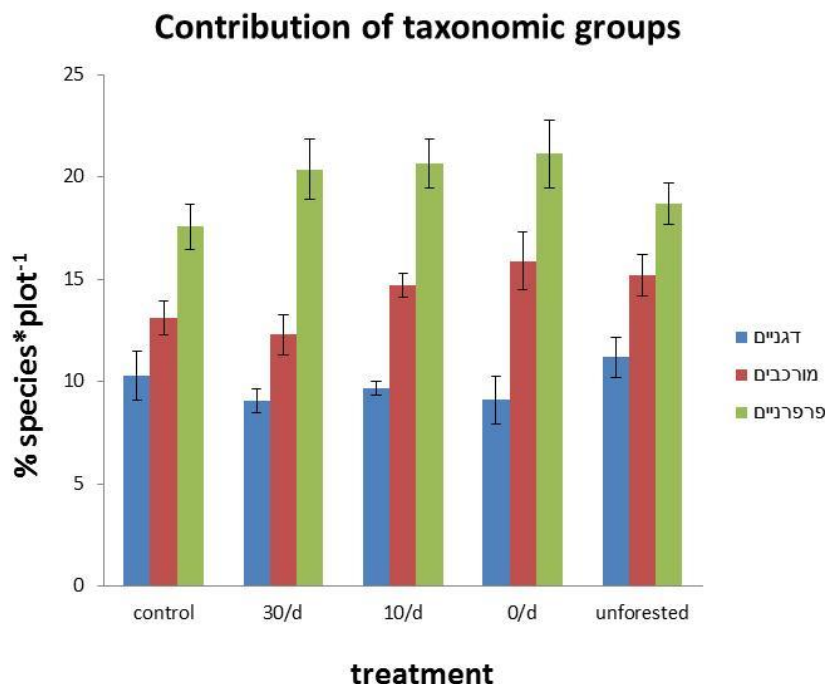
Total richness



איור מס' 17: עושר מינים של הצומח בתת היער בשנת 2009 לפני ביצוע הדילול, בשנת 2011 כשנתיים לאחר הדילול ובשנת 2014 כחמש שנים לאחר הדילול.

תרומת משפחות טקסונומיות לעושר המינים

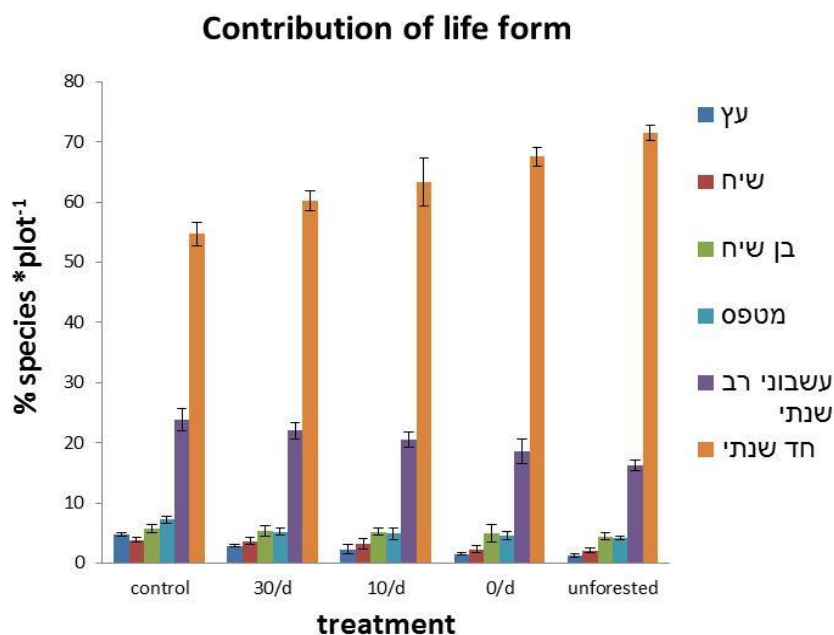
שלושת המשפחות העיקריות (דגניים, מורכבים ופרפרניים) מהוות יחד בין 40 ל-46% מכלל המינים ביער קדושים. משפחת הפרפרניים היא המשפחה השכיחה ביותר בכל חלקות היער. לא נמצאו הבדלים משמעותיים בהתפלגות המשפחות הנפוצות בין הטיפולים השונים.



איור מס' 18: התפלגות המינים לפי משפחות טקסונומיות נפוצות. הדיגום נעשה בשנת 2011 כשנתיים לאחר ביצוע הדילול

תרומת צורות החיים לעושר המינים

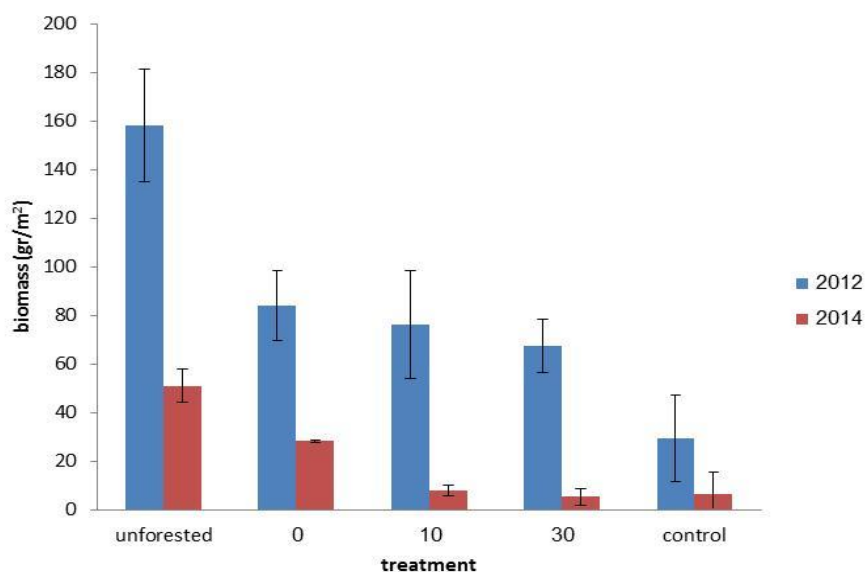
ניתן לראות שבכל החלקות הצומח החד-שנתי מהווה את רוב המינים (בין כ-55% לכ-70%). התקבלו הבדלים מובהקים בהתפלגות צורות החיים בין חלקות השטח הפתוח והכריתה מלאה לבין חלקות הביקורת. התרומה היחסית של מינים חד שנתיים לעושר המינים גדלה ככל שצפיפות היער יורדת.



איור מס' 19: התפלגות המינים לפי צורות החיים בכל חלקה. הדיגום נעשה בשנת 2011 כשנתיים לאחר ביצוע הדילול

ביומסה עשבונית

herbaceous biomass per treatment

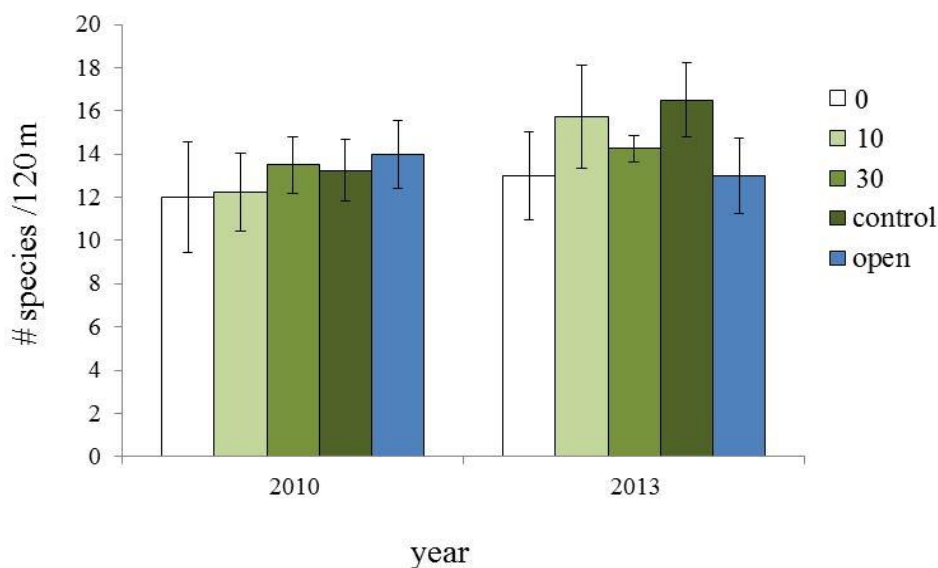


כמות הביומסה
העשבונית הולכת
ופוחתת ככל
שצפיפות היער
עולה. בשנת
2012 כמות
הביומסה הייתה
גדולה פי 3 מכמות
הביומסה בשנת
2014. הבדלים
אלה נובעים
כנראה מפיזור
גשמים לא אחיד
בשנת 2014.

איור מס' 20: ביומסה עשבונית בטיפולים השונים. הדיגום נעשה בשנת 2012 כשלוש שנים לאחר ביצוע הדילול ובשנת 2014 כחמש שנים לאחר הדילול. נתוני הביומסה חושבו מנוסחת כיול, על פי מדגמי ביומסה אמתית כתלות בנפח (שחושב מנתוני גובה ואחוז כיסוי).

עושר מיני צומח מעוצה

Total richness

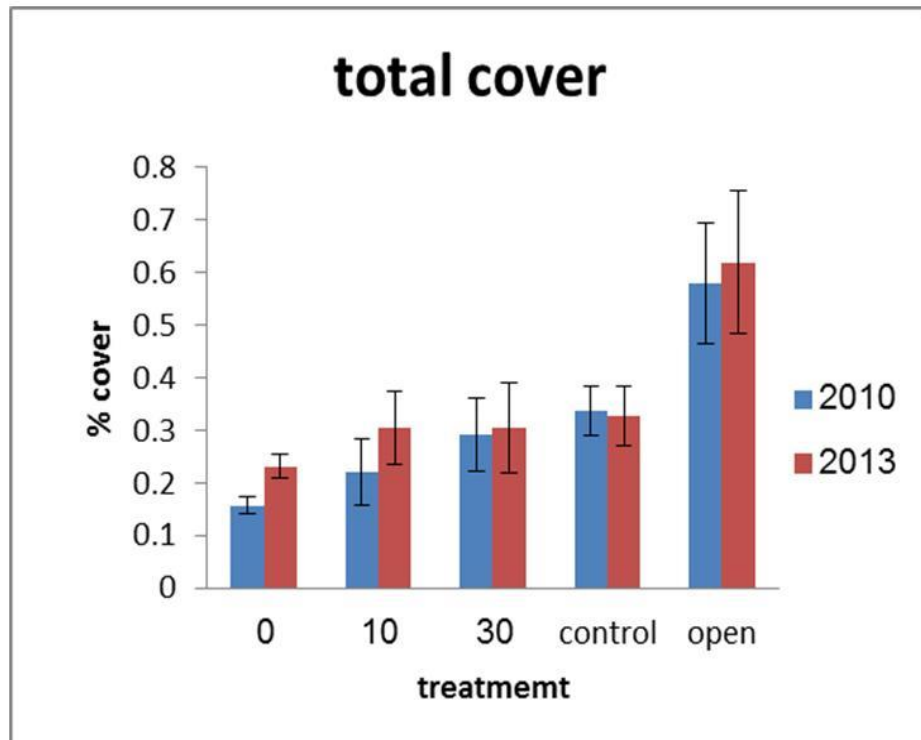


בשנת 2010
מספר מיני
הצומח המעוצה
נע בין 12 ל-
14 מינים ל-
120 מטר
בממוצע,
ולאחר 3 שנים
הממוצע נע בין
13 ל-16
מינים. לא
נמצאו הבדלים
בין הטיפולים.

איור מס' 21: עושר מיני צומח מעוצה בתת היער. מספר המינים לחלקה נמדד לאורך 12 טרנסקטים של 10 מטר (3 טרנסקטים בכל subplot). המדידות נעשו כחצי שנה לאחר הדילול וכשלוש וחצי שנים לאחר הדילול.

כיסוי צומח מעוצה

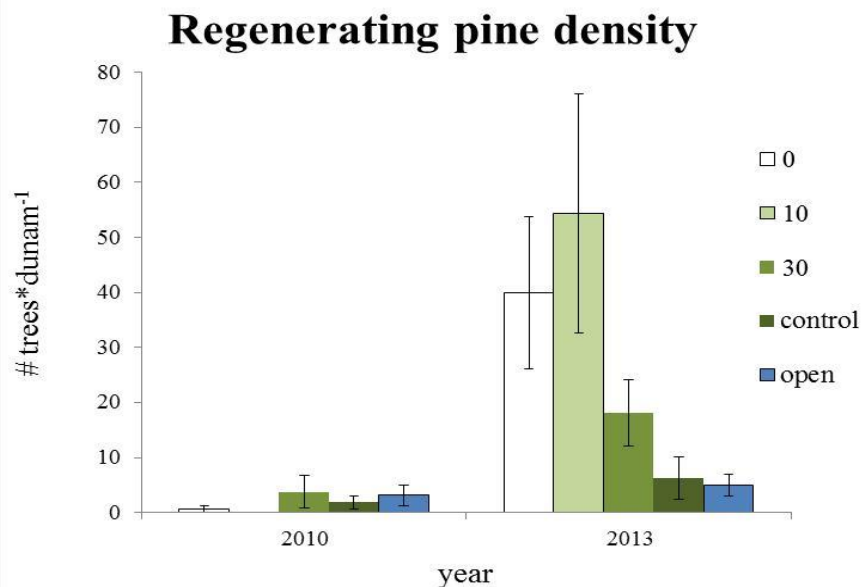
לאחר שלוש
שנים מהדילול,
חל גידול באחוז
הכיסוי המעוצה
בחלקות שעברו
כריתה מלאה
(53%) ובחלקות
שדוללו ל-10
עצים לדונם
(45%). בחלקות
שדוללו ל-30
עצים לדונם
ובחלקות הבקרה
לא חל כמעט
שינוי באחוז
הכיסוי ובחלקות
השטח הלא
מיוער חלה עלייה
קטנה (5%).



איור מס' 22: אחוז גידול בכיסוי צומח מעוצה בתת היער. אחוז הכיסוי חושב מתוך 12 טרנסקטים של 10 מטר בכל חלקה. המדידות נעשו כחצי שנה לאחר הדילול וכשלוש וחצי שנים לאחר הדילול.

התחדשות טבעית של אורן ירושלים

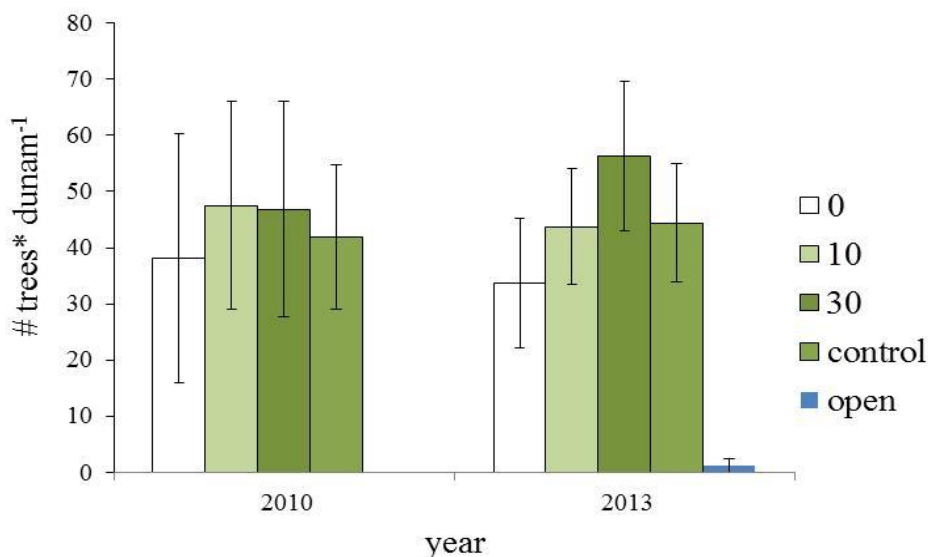
חצי שנה לאחר
הדילול, מספר זריעי
אורן ירושלים נע בין
0 עצים לדונם ל-
3.75 עצים לדונם.
לא נמצאו הבדלים
מובהקים בין
הטיפולים. לאחר
שלוש שנים מספר
זריעי אורן ירושלים
עלה בכל החלקות
והגיע עד 54 עצים
לדונם בחלקות
שדוללו ל-10 עצים
לדונם. נמצאו
הבדלים מובהקים בין
החלקות.



איור מס' 23: צפיפות זריעי אורן ירושלים בתת היער. חישוב הצפיפות נעשה באמצעות ספירת מספר העצים בשטח של 400 מ"ר בכל חלקה. המדידות נעשו כחצי שנה לאחר הדילול וכשלוש וחצי שנים לאחר הדילול.

התחדשות טבעית של אלון מצוי

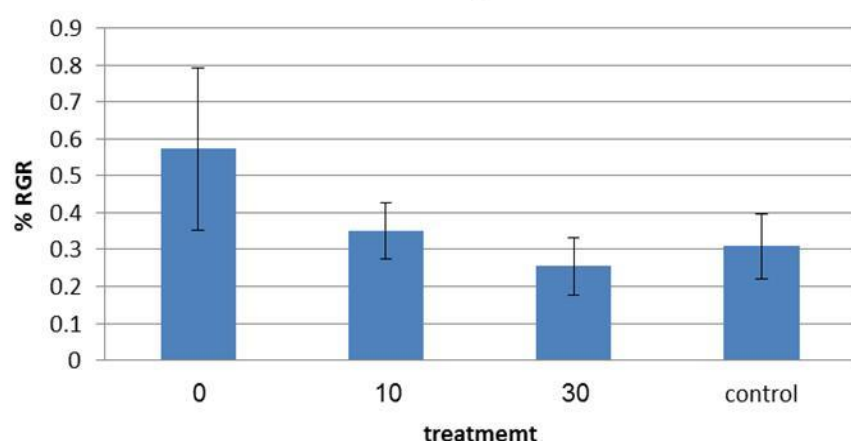
Oak density



איור מס' 24: צפיפות עצי אלון מצוי. חישוב הצפיפות נעשה באמצעות ספירת מספר העצים בשטח של 400 מ"ר בכל חלקה. המדידות נעשו כחצי שנה לאחר הדילול ושלוש וחצי שנים אחרי הדילול.

קצב גידול יחסי של אלון מצוי בתת היער

RGR height

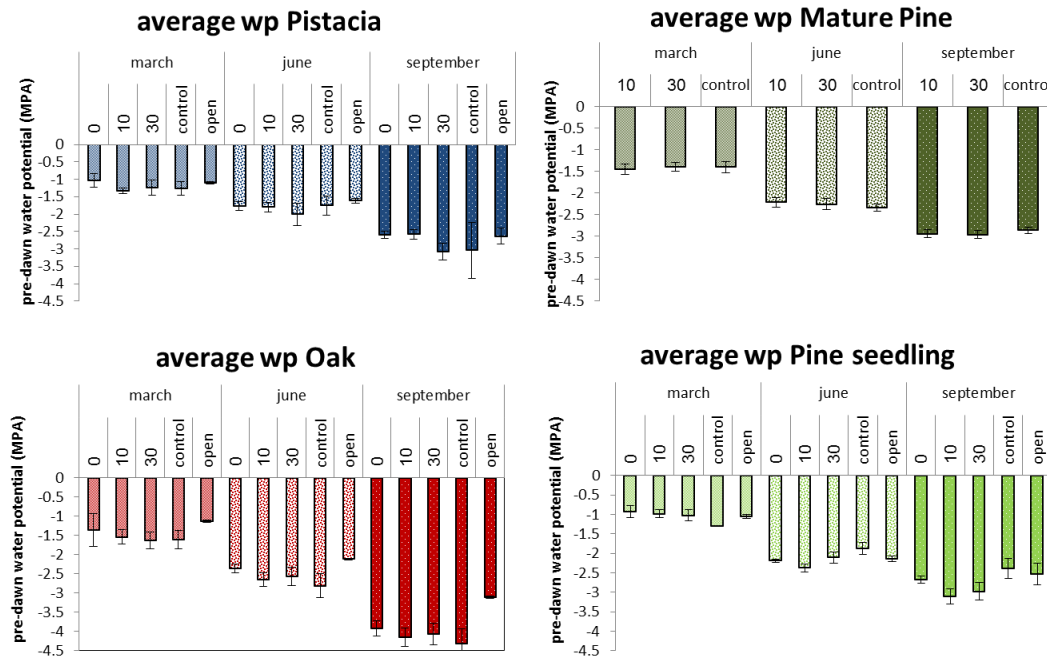


איור מס' 25: קצב גידול יחסי של עצי אלון מצוי שהתבססו בתת היער. קצב הגידול מחושב ל ידי ההפרש בין גובה פרטים בשנת 2010 לבין גובהם בשנת 2013. קצב הגידול היחסי מחושב על ידי חלוקת ההפרש הנ"ל בגובה בשנת 2010.

מספר עצי אלון
מצוי נע בין 0
עצים לדונם
בשטח הפתוח ל
47.5 עצים
לדונם בחלקות
שדוללו ל- 10
עצים לדונם. לא
נמצאו הבדלים
מובהקים בין
הטיפולים ובין
השנים.

קצב הגידול
היחסי של פרטי
אלון מצוי בתת
היער גדל ככל
שהדילול חזק
יותר. בחלקות
הכריתה המלאה
גבהו האלונים
בכ-55% תוך
שלוש שנים.
בחלקות הביקורת
גבהו האלונים
בכ-30%

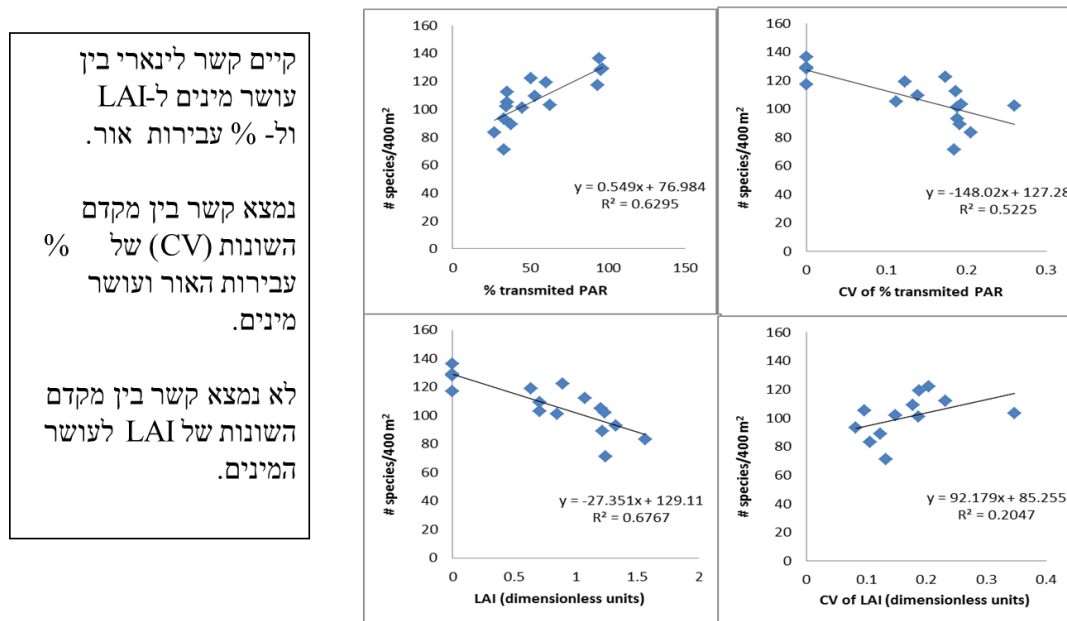
פוטנציאל מים טרום-שחר בעצי היער ותת היער



איור מס' 26 - פוטנציאל מים במרץ, יוני וספטמבר 2015 של אלון מצוי, אלת מסטיק ובעצים בוגרים וצעירים של אורן ירושלים. המדידות התבצעו בענפים שנקטפו טרום-שחר בעזרת תא לחץ. הנתונים הם ממוצע $\pm$ SE.

נמצאו הבדלים בפוטנציאל המים בין המינים ובין חודשי השנה, אך לא בין הטיפולים השונים.

הקשר בין עושר מינים לבין זמינות ושונות מרחבית של אור

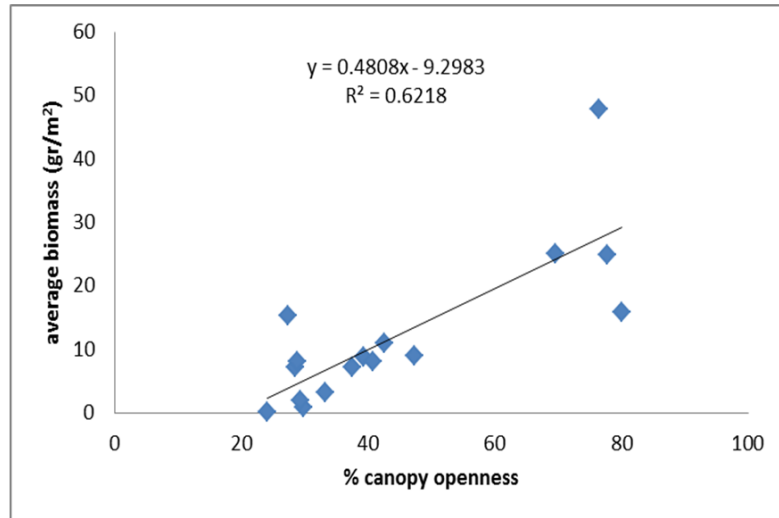


איור מס' 27: שטח עלווה (LAI) ו- % עבירות האור חושבו מנתוני הצילומים ההיספריים שצולמו בינואר 2015 ועובדו בתוכנת GLA. עושר המינים נדגם בסקר צימה אביב 2014.

הקשר בין מפתח השמיים ויצרנות

נמצא קשר לינארי מובהק בין מידת פתיחות השמים לבין יצרנות הצומח העשבוני בתת-יער.

אינדקסים נוספים של זמינות אור כגון LAI וכמות האור החודר הראו קשר מובהק עם יצרנות עשבונית.



איור מס' 28: הקשר בין מפתח השמים ליצרנות.

מפתח השמים חושב מעיבוד נתוני הצילומים ההמיספרים, שצולמו בינואר 2015 בתוכנת GLA. נתוני הביומסה חושבו מנוסחת כיול, על פי מדגמי ביומסה אמיתית כתלות בנפח (שחושב מנתוני גובה ואחוז כיסוי) מסקר שנערך באביב 2014.