

נספח 1. פירוט שיטות המחקר**מקום**

מערך הניסוי הוקם בגג ירוק קיים על מבנה "בית הסטודנט" באוניברסיטת חיפה שעל הר הכרמל (35.02°N , 32.76°E) ברום של 450 מטר מעל פני הים, עם ממוצע משקעים של 685 מ"מ וטמפרטורות מרביות ממוצעות של 18.5 מעלות צלזיוס בינואר ו-30.4 באוגוסט.

חלקות הניסוי

חלקות הניסוי נתחמו במסגרות שנוצרו מפריסה של מכלי פלסטיק כחולים של חברת דולב. המסגרות הוצבו בשיפוע של 2 מעלות לכיוון נקודת הניקוז, שמוקמה בגובה של 5 ס"מ מעל הפינה הנמוכה ביותר. פנים החלקה רופד בממברנת פלסטיק ייעודית (Wepelen® Aqua Tec, RKW, Germany). מתחת לממברנת הפלסטיק ומעליה נפרסה יריעת הגנה ייעודית מגאוטקסטיל (Stratum 30 mm, Pavitex, Italy) כדי לספק הגנה מפגיעות מכניות. מעל יריעה זו הונחה בחלק מהחלקות יריעת ניקוז בגובה של 20 מ"מ (ISO-DRAIN nature 20 P, Interplast, Germany), ומעליה הונחה יריעה חוסמת שורשים מבד לא ארוג (Plantex® Gold, DuPont, Luxembourg). השכבה הבאה בכל החלקות היא שכבת המצע – על בסיס טוף או על בסיס פרלייט. שני סוגי המצע הכילו 20% חומר אורגני (10% כבול ו-10% קומפוסט). המצע על בסיס טוף הכיל 80% טוף (גודל גרגר 0–8 מ"מ, "טוף מרום גולן"), ואילו המצע על בסיס פרלייט הכיל 10% טוף ו-70% פרלייט (מיוצר מגרגירי זכוכית געשית מיובאת, גודל גרגר 0.6 מ"מ, חברת "אגריקל"). את ערבוב המצעים ביצעה חברת "טוף מרום גולן". לנוכח ההבדל שבין משקל המצעים השונים הוחלט לקבוע את נפח השכבה כך שיעמוד במשקל הנשיאה המרבי לגג בישראל (150 ק"ג למ"ר), ולכן חלקות הטוף היו בעומק 12 ס"מ, בעוד שחלקות הפרלייט היו בעומק של 16 ס"מ. כל החלקות כוסו לאחר הזריעה בשכבת חצץ מסוג 'שמשום' (6–12 מ"מ) כדי למנוע בליה של המצע ופיזור של הזרעים.

זרעי המינים החד-שנתיים בניסוי נרכשו ממשלתל צמחי הבר "זרעים מציון", למעט חיתת הבר שהזרעים שלה הובאו ממעבדת חיתת הבר שבמכון לאבולוציה באוניברסיטת חיפה. כל המינים הם מינים מקומיים ים-תיכוניים חד-שנתיים. זהות המינים בחלקות השונות נקבעה בצורה אקראית. רשימת המינים מפורטת בטבלה 1, וכן מצוינים מספר ההופעות של המינים השונים בחלקות השונות בשלב הזריעה ומספר ההופעות בכל שנה.

במהלך שנות הניסוי לא התבצעו השקיה או דישון של החלקות. המשקעים נמדדו בתחנה הסמוכה של השירות המטאורולוגי (תחנת אוניברסיטת חיפה): 2012–2013 – 779 מ"מ, 2013–2014 – 344 מ"מ, 2014–2015 – 638 מ"מ, 2015–2016 – 426 מ"מ.

החלקות חולקו למקבצים שונים, שנבחרו על בסיס המרחק שלהם מקיר התמך המערבי של הגג כדי לאפשר בחינה של השפעת הצל מקיר זה. ניתוח המידע העלה שלא הייתה השפעה מובהקת למקבצים הללו.

איסוף המידע

טמפרטורה ולחות נמדדו בצהרי היום לאורך תקופת הצימוח (כל עוד היה צמח ירוק כלשהו באחת מהחלקות) פעמיים בשבוע בשנה הראשונה, פעם בשבוע בשנים השנייה והשלישית ופעם בשבועיים בשנה הרביעית. זהות המינים בכל חלקה נמדדה פעם בשבועיים. הטמפרטורה נמדדה במד טמפרטורה ידני (TFA, Wertheim, Germany) שהוחדר לתחתית המצע במרכז החלקה. הלחות נמדדה במד לחות ידני (ECHO EC-5 frequency domain probe, Decagon Devices Inc., USA) בשלוש נקודות בחתך אלכסוני קבוע. לא התבצעו מדידות במהלך אירועי גשם או לאחר שלא נותרה צמחייה ירוקה כלשהי באף אחת מהחלקות.

הביומסה של הצמחייה בחלקות הוערכה בשיטה לא הרסנית על-ידי צילום עילי של החלקות בסמוך לצהרי היום בזמן של הארה מלאה בעזרת מצלמת Nikon CoolPix P7700 (Nikon, Tokyo, Japan). התמונות עברו חיתוך אוטומטי על בסיס מסגרות החלקות וחישוב של כמות הפיקסלים הירוקים בתוכנת מאטלאב (MATLAB® r2015b Mathworks®, Natick, Massachusetts, USA). ערך פיקסל ירוק חושב על בסיס ערכי RGB (אדום, ירוק וכחול) שתורגמו לטווח של 0–1 ואז חושבו בהתאם לנוסחה: $JustGreen = G - R/2 - B/2$. ערך זה תורגם לשחור לבן בעזרת פונקציית $im2bw$ בחישוב הבא – $BW = im2bw(JustGreen, 0.09)$. סף זה דורש ערכי ירוק גבוהים לצד ערכי אדום וכחול נמוכים (כך שפיקסלים כהים או מוצלים מוחרגים).

לנוכח חוסר הקביעות בתאריכי המדידה בעקבות אילוצי מזג האוויר, חישוב הערך השנתי של כיסוי, טמפרטורה (איור 3) ולחות (איור 4) התבצע על-ידי חישוב שטח הפוליגון הכלוא מתחת לערכים שנמדדו לכל חלקה כפונקציה של הזמן ולא על-ידי ביצוע ממוצע.

דגימות מצע נלקחו בסוף כל אחת משלוש השנים הראשונות בחודש ספטמבר, ונשלחו לבדיקה במנהל המחקר החקלאי בנווה יער. אופן הבדיקה נעשה בצורה שונה למצע טוף ולמצע פרלייט, יחס המסיסות בטוף עמד על 1:1, ואילו בפרלייט הוא עמד על 1:10. הבדלים בשיטת הבדיקה משפיעים על מדדי החנקן והאמוניום, ולכן לא יכולנו להשוות בין המדדים האלה בטיפול זה (איור 5).

נספח 2. ניתוח סטטיסטי

ניתוח המידע נעשה באמצעות תוכנת R (גרסה 3.3.1) ו-SPSS 23. ברוב המקרים התבצע ניתוח ANOVA חוזר לשלושה משתנים (repeated-measures three-way ANOVA) (טבלאות 2 ו-3), למעט בניתוח החנקה והאמוניום, שבהם התבצע ניתוח ANOVA של שני משתנים בלבד (repeated-measures two-way ANOVA) (טבלה 4). תיקון גרינהאוס-גאיסר (Greenhouse-Geisser) בוצע כאשר עלה צורך בשל בעיות של כדוריות (sphericity) בנתונים. טרנספומציות נעשו כאשר הנתונים לא עמדו בהנחות הפרמטריות. מבחני פוסט-הוק נעשו בשיטת Tukey HSD. לאור המספר הגבוה של המבחנים שבוצעו על עשרה מדדים שונים במערך הניסוי (מספר מינים שנתרו, מספר מינים שנוספו, עושר כולל, כיסוי, טמפרטורה, לחות, ערך ההגבה (pH), מוליכות חשמלית (EC), חנקה (ניטרט) ואמוניום) בוצע תיקון בונפרוני למובהקות, כך שסף המובהקות הנדרש עמד על $p=0.005$.

טבלה 1. רשימת המינים שנזרעו בחלקות הניסוי, מספר החלקות שכל מין נזרע בהן, ומספר החלקות שהמין הופיע בהן במהלך השנים השונות

הערך המינימלי הוא 0 (לא הופיע באף חלקה) והערך המרבי הוא 48 (הופיע בכל חלקות הניסוי), הטבלה מסומנת בצבע המותאם לערך המופיע בטבלה – ככל שמספר ההופעות גבוה יותר הצבע כהה יותר. נוסף על המינים האלה, זוהו בחלקות מיני המעזבות (ruderal) צמחים כדוגמת מרור הגינה, אזנב מצוי, מיני חלבלוב ומיני קייצת.

שם מין – עברית	שם מדעי (מין)	שם מדעי (משפחה)	מספר החלקות שהמין נזרע בהן	2012-2013	2013-2014	2014-2015	2015-2016
דמונית קטנת-פרי	<i>Adonis microcarpa</i> DC.	Ranunculaceae	16	0	5	1	0
אגרוסטמת השדות	<i>Agrostemma githago</i> L.	Caryophyllaceae	19	19	6	3	0
קחוון מצוי	<i>Anthemis pseudocotula</i> Boiss.	Compositae	19	19	20	14	3
שפיריה קשקשנית	<i>Artedia squamata</i> L.	Umbelliferae	25	2	27	24	8
שיבולת-שועל נפוצה	<i>Avena sterilis</i> L.	Gramineae	21	20	28	27	28
זעזועית גדולה	<i>Briza maxima</i> L.	Gramineae	17	5	21	12	14
ברומית ספרדית	<i>Bromus madritensis</i> L.	Gramineae	20	21	38	46	47
פעמונית ירושלים	<i>Campanula hierosolymitana</i> Boiss.	Campanuaceae	19	0	0	0	0
קורטם דק	<i>Carthamus tenuis</i> (Boiss. & Blanche) Bornm.	Compositae	15	13	17	12	4
חרצית עטרה	<i>Chrysanthemum coronarium</i> L.	Compositae	22	18	26	24	9
עולש מצוי	<i>Cichorium endivia</i> L.	Compositae	18	9	6	4	2
עכנאי יהודה	<i>Echium judaeum</i> Lacaita	Boraginaceae	13	12	0	4	0
זקן-סב מצוי	<i>Geropogon hybridus</i> (L.) Sch.Bip.	Compositae	22	22	5	0	0
עוקץ עקרב ריחני	<i>Heliotropium suaveolens</i> M.Bied.	Boraginaceae	18	17	2	0	1
שעורה נימית	<i>Hordeum geniculatum</i> All.	Gramineae	17	15	27	33	34
שעורת העכבר	<i>Hordeum glaucum</i> Steud.	Gramineae	15	15	36	36	14
פשתה שעירה	<i>Linum pubescens</i> Banks & Sol.	Linaceae	21	21	14	11	5
תגית מצויה	<i>Lomelosia prolifera</i> (L.) Greuter & Burdet	Dispacaceae	18	18	21	17	11
תורמוס ההרים	<i>Lupinus pilosus</i> L.	Papilionaceae	24	24	12	5	1
חלמית קטנת-פרחים	<i>Malva parviflora</i> L.	Malvaceae	20	20	24	19	11
שברק דביק	<i>Ononis pubescens</i> L.	Papilionaceae	21	21	16	7	3
פרג אגסני	<i>Papaver umbonatum</i> Boiss.	Papaveraceae	21	3	12	5	0
נורית המלל	<i>Ranunculus marginatus</i> (Boiss.) P.H.Davis	Ranunculaceae	20	13	19	12	11
רכפה לבנה	<i>Reseda alba</i> L.	Resedaceae	20	8	10	1	0
כרמלית נאה	<i>Ricotia lunaria</i> (L.) DC.	Cruciferae	19	17	21	24	10
חוח עקוד	<i>Scolymus maculatus</i> L.	Compositae	16	16	23	9	0
ציפורנית מצרית	<i>Silene aegyptiaca</i> (L.) L. F.	Caryophyllaceae	18	18	24	27	20
חרדל לבן	<i>Sinapis alba</i> L.	Cruciferae	18	21	22	20	10
מלעניאל מצוי	<i>Stipa capensis</i> Thunb.	Gramineae	23	23	17	26	31
דרכמונית מצרית	<i>Tordylium aegyptiacum</i> (L.) Lam.	Umbelliferae	15	1	2	7	1
תלתן הארגמן	<i>Trifolium purpureum</i> Loisel.	Papilionaceae	13	13	18	23	34
חיטת הבר	<i>Triticum dicoccoides</i> (Koern. Ex Asch. & Graebn.) Schweinf.	Gramineae	17	9	10	4	2

טבלה 2. טבלת ניתוח מבחני שוניות על המשתנים – מינים שנותרו בחלקות, מינים שנוספו בחלקות, עושר כולל וכיסוי

תוצאות מובהקות מסומנות ברקע כהה. אינטראקציות מובהקות, ותוצאות שאינן כלולות באינטראקציה אחרת מודגשות. F – ערך המבחן הסטטיסטי. P – רמת המובהקות.

מקור השונות		דרגות חופש		כיסוי שנתי		צמחי ירוק	עושר כולל		מינים שנוספו		מינים שנותרו	
		F	P	F	P		F	P	F	P	F	P
בין משתנים	מצע	1,40	<0.001	25.15	0.25	1.38	0.18	1.87	0.92	0.01	0.92	0.01
	ניקוז	1,40	0.40	0.72	0.19	1.74	0.64	0.23	0.35	0.89	0.35	
	עושר מינים	1,40	0.001	13.56	<0.001	110.85	<0.001	45.1	<0.001	972.32	<0.001	
	מצע x ניקוז	1,40	0.67	0.19	0.03	4.76	0.18	1.87	0.03	5.14	0.03	
	מצע x עושר מינים	1,40	0.99	<0.001	0.9	0.01	0.41	0.69	0.35	0.89	0.35	
	ניקוז x עושר מינים	1,40	0.21	0.64	0.76	0.1	0.27	1.27	0.3	1.08	0.3	
	מצע x ניקוז x עושר מינים	1,40	0.33	0.98	0.49	0.48	1	<0.001	0.16	2.01	0.16	
	שנה	דרגות		<0.001	34.38	<0.001	8.21	<0.001	159.08	<0.001	168.31	<0.001
משתנים	שנה x מצע	דרגות חופש	<0.001	25.64	0.1	2.1	0.18	1.64	0.4	0.97	0.4	
	שנה x ניקוז	מתוקנות	0.78	0.32	0.31	1.2	0.94	0.13	0.25	1.4	0.25	
	שנה x עושר מינים	מופיעות	0.32	1.18	<0.001	58.39	<0.001	12.9	<0.001	72.15	<0.001	
	שנה x מצע x ניקוז	בתחתית	0.79	0.3	0.24	1.4	0.21	1.51	0.97	0.06	0.97	
	שנה x מצע x עושר מינים	כל מבחן	0.63	0.52	0.17	1.72	0.27	1.31	0.29	1.26	0.29	
	שנה x ניקוז x עושר מינים		0.94	0.09	0.12	2	0.43	0.92	0.26	1.37	0.26	
	שנה x מצע x ניקוז x עושר מינים		0.95	0.09	0.46	0.87	0.24	1.43	0.63	0.52	0.63	
	דרגות חופש			2.52, 100.87		3, 120		3, 120		2.48, 99.32		

טבלה 3. טבלת ניתוח מבחני שוניות על המשתנים טמפרטורה ולחות

תוצאות מובהקות מסומנות ברקע כהה. אינטראקציות מובהקות ותוצאות שאינן כלולות באינטראקציה אחרת מודגשות. F – ערך המבחן הסטטיסטי. P – רמת המובהקות.

מקור השונות	דרגות חופש	טמפרטורה		לחות	
		P	F	P	F
בין משתנים	מצע	<0.001	28.94	<0.001	201.71
	ניקוז	0.78	5.24	0.03	0.08
	עושר מינים	0.96	1.72	0.2	<0.01
	ניקוז x מצע	0.76	0.59	0.45	0.1
	עושר מינים x מצע	0.28	0.28	0.6	1.22
	עושר מינים x ניקוז	0.28	0.005	0.94	1.21
	עושר מינים x ניקוז x מצע	0.47	0.6	0.44	0.53
בתוך משתנים	שנה	<0.001	13601.7	<0.001	713.72
	מצע x שנה	<0.001	12.78	<0.001	68.32
	ניקוז x שנה	0.14	2.85	0.06	1.85
	עושר מינים x שנה	0.2	0.25	0.78	1.59
	ניקוז x מצע x שנה	0.25	0.68	0.51	1.37
	עושר מינים x מצע x שנה	0.08	0.16	0.85	2.26
	עושר מינים x ניקוז x שנה	0.69	0.1	0.99	0.49
	עושר מינים x ניקוז x מצע x שנה	0.29	0.28	0.76	1.25
	שנה				
דרגות חופש		2.02, 80.74		3, 120	

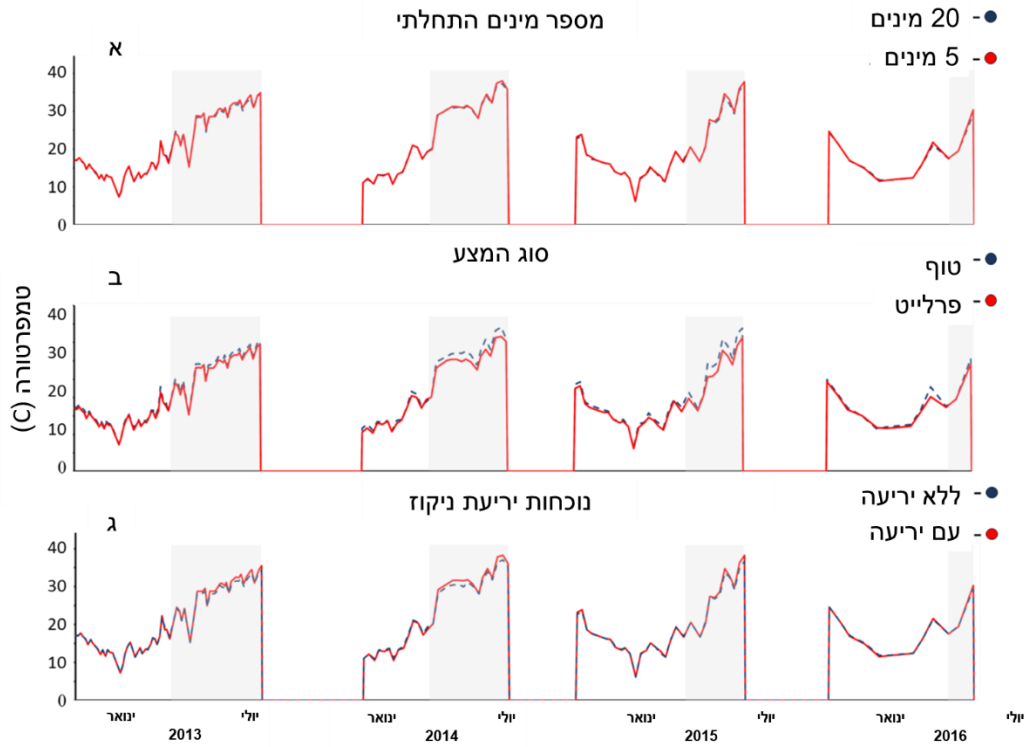
טבלה 4. טבלת ניתוח מבחני שוניות על המשתנים בדגימות המצע: ערך ההגבה (pH), מוליכות חשמלית (EC), חנקה (NO₃) ואמוניום (NH₄)

תוצאות מובהקות מסומנות ברקע כהה. אינטראקציות מובהקות ותוצאות שאינן כלולות באינטראקציה אחרת מודגשות. F – ערך המבחן הסטטיסטי. P – רמת המובהקות.

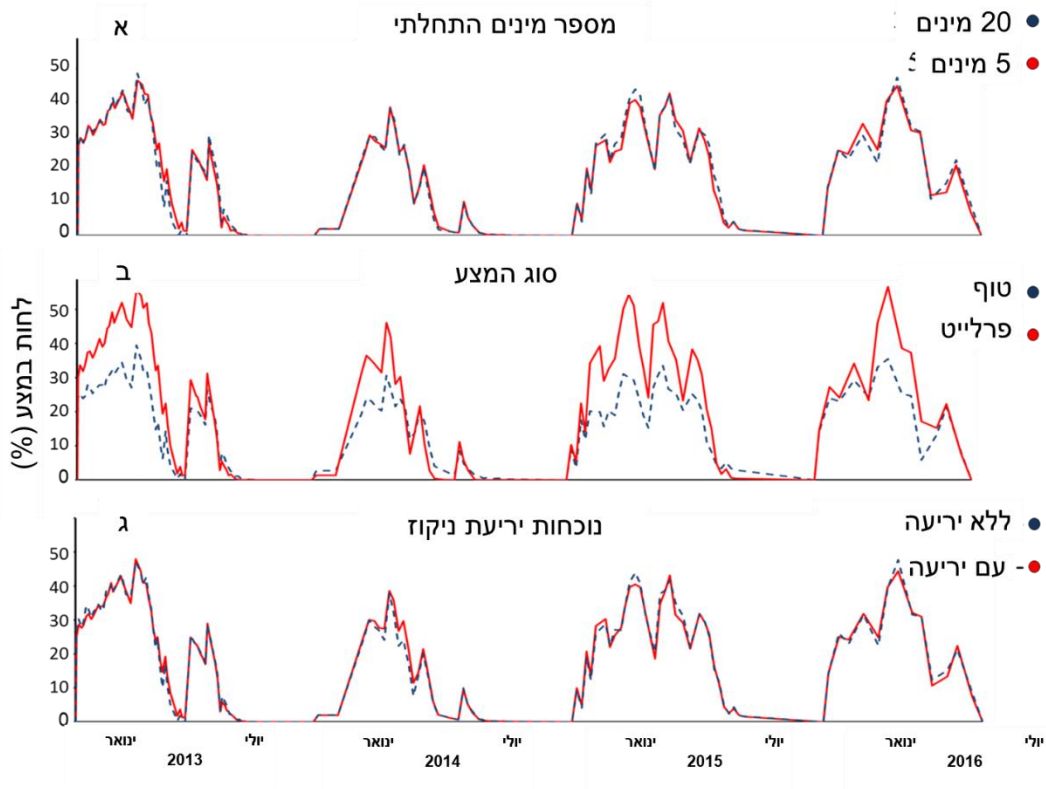
מקור השונות	דרגות חופש	pH		מוליכות חשמלית		חנקה		אמוניום	
		P	F	P	F	P	F	P	F
בין משתנים	ניקוז	0.35	1.36	0.25	0.29	0.59	0.004	0.95	0.89
	עושר מינים	0.09	<0.01	0.95	2.44	0.12	1.62	0.21	3.07
	עושר מינים x ניקוז	0.67	0.07	0.8	0.1	0.75	0.23	0.63	0.18
בתוך משתנים	שנה	<0.001	29.35	<0.001	124.91	<0.001	6.08	0.02	38.1
	ניקוז x שנה	0.45	0.48	0.55	0.38	0.6	3.9	0.055	0.64
	עושר מינים x שנה	0.37	0.01	0.95	1.1	0.32	2.06	0.16	0.86
	עושר מינים x ניקוז x שנה	0.46	0.7	0.45	0.005	0.98	0.08	0.78	0.6
	שנה								
דרגות חופש		1.36, 50.35		1.36, 59.71		1, 44		1.14, 50.35	

איור 3. השינויים לאורך זמן בטמפרטורה שבמצע בחלקות הניסוי

המבחן בוצע רק על התוצאות מהחודשים החמים – מאפריל עד סוף עונת הדגימה בכל שנה. טווח זה מסומן באפור באיור.



איור 4. השינויים לאורך זמן בלחות הממוצעת בחלקות הניסוי



איור 5. השינויים לאורך זמן במדדי המצע השונים בחלקות הניסוי

