

דו"ח מדעי לשנה א' למחקר (מתוך 3 שנים)
השפעת אקלים על פוטנציאל מים בעליים: בחינת שיטות חישה מרוחק לעומת מדידות ישירות
לאור שינוי אקלים

מוגש על ידי:

נתנאל פישמן¹, אסף יעקובי², סופי אוברשטיינר², תמייר קליאן, ודוד הלמן^{1,3}

¹ המחלקה למדעי הקרקע והמים, מכון למדעי הסביבה, הפקולטה לחקלאות, מזון וסביבה,
האוניברסיטה העברית בירושלים, קמפוס רחובות

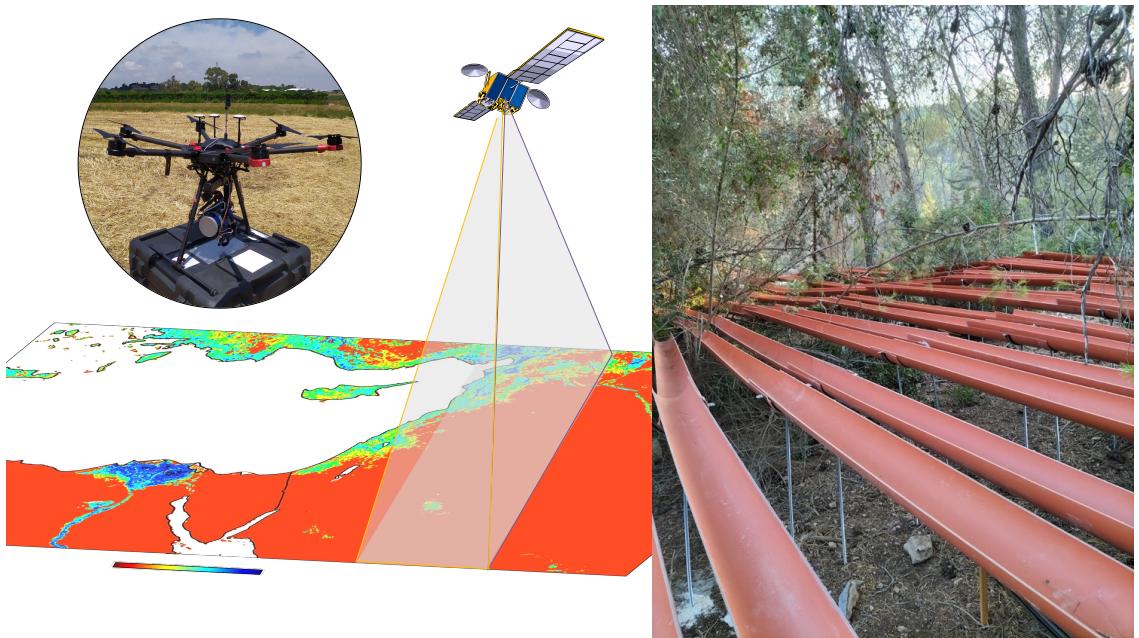
² המחלקה למדעי הצמח והסביבה, מכון ויצמן, רחובות

³ בית הספר ללימודי סביבה متאדים, האוניברסיטה העברית בירושלים, קמפוס גבעת רם,
ירושלים

מחקר זה ממומן על ידי:

הקרן הקיימת לישראל

פרויקט מס' 2145 (ק"ק קק"ל 430/21)



1. מבוא

שינויי אקלים עלולים להשפיע על הצומח הן מבחינתי תפקודו, והן מבחינת הקשר בין מקורות המים. על אף ההצלחה הכלכלית של מפעל הייעור בישראל, בשלושת העשורים האחרונים סבלו הערים בארץ (ובעולם) מאירועי תמותה נרחבים, אשר התרחשו על רקע התהממות גלובלית וشنנות בקורס רצופות. אף טרומת התמותה, מראים עצים הסובלים מעקט-יובש ירידת תפקודית, הפוגעת בשירותי המערכת של העיר. למרות יכולתם של העצים להסתגל לשינויי אקלים, לרבות יובש, החשש הוא כי קצב השינויים יעלה על קצב ההסתגלות.

אחד המדרדים השימושיים ביוטר לאפיון עקט-יובש בעצים הינו פוטנציאל המים בעליים (פמ"ע), מפני שהוא מייצג את מידת היציבות של המים בציוניות הוהלה של העץ – ככלומר, ערך זה נעשה שלילי יותר ככל שగוברת עקט-היובש. אע"פ שניתן למדוד פמ"ע בשדה, מדידה זו מוגבלת בכיסוי המרחביה שלה, ובכך יכולה שלא להעריך השפעות מרוחביות מעבר לקנה מידה מקומי. שימוש בכלים חישה מרוחק (חיישנים ומצלמות על רחפנים ולוויניים) יכול לספק מידע שבאזורתו ניתן יהיה להעריך את פמ"ע בקנה מידה מרחביה רציף ונDSL יותר מבחינת פרישת שטח. מידול פמ"ע, בעזרתו נתוני השטח ונתוני החישה מרוחק, אפשר לנו לבחון שינויים בתנאי עקה במספר יערות לאורך מפל הגשם בישראל, ולאורך מספר שנים אחרת.

בכדי לאלץ תנאי עקט-יובש בחלוקת הניטור, הקמנו מערכת ניסוי של הפחחת גשם (הפחחתה של כ-30%) אשר ידמה בקורס מתמשכת בעיר ישע. בחלוקת הביקורת וההפחחתה, אנו מודדים פמ"ע במגוון עצים באופן רציף (כל שבועיים-שלושה), תוך כדי מדידת אינדקס שטוחה העלווה (Leaf area index – LAI) מתחת העצים ובמרחב החלקות, בנוסף לצילום החלקות בעזרת מצלמה היפרסקטRELית ומכשיר לידר, המותקנים על רחפן ה- 600Pro DJI שלנו.

1.1. שאלת המחקר

כיצד שינוי אקלים (התהממות ובקורס) עשויים להשפיע על תנאי עקט-יובש בטוחה הקצר (פוטנציאל מים בעליים) ובטוחה הארוך (שינויים ב-LAI) בעיר ח-מינימום ומעורבים לאורך מפל הגשם בישראל, והאם ניתן לחזות מראש אזורים בעיר הנמצאים בעקט-יובש חמורה בעזרת מודלים מבוססים נתונים לוויין ?

1.2. שנה א'

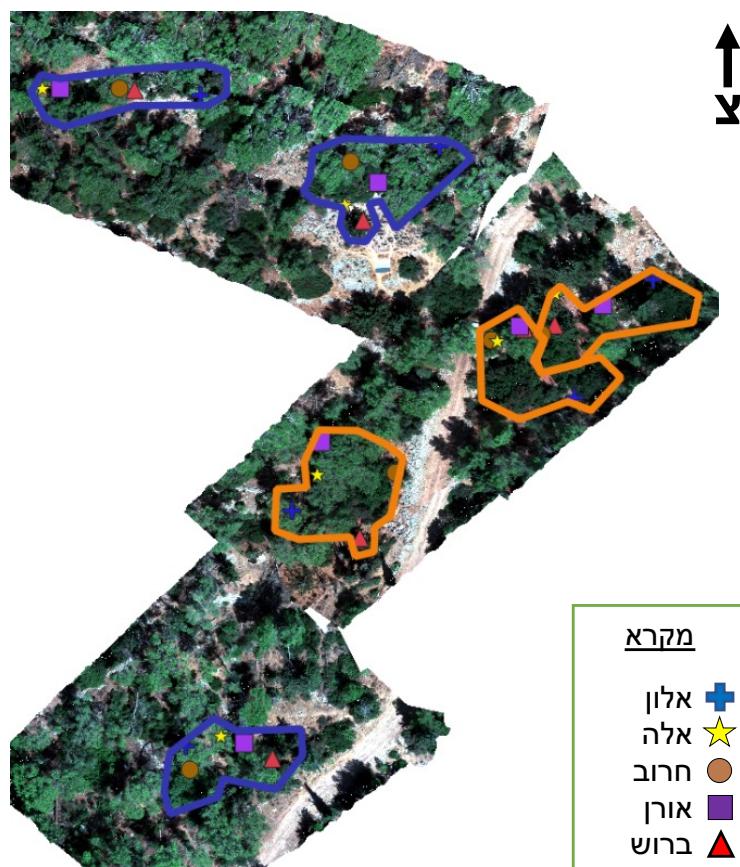
המטרה בשנה הראשונה הייתה, בשלב ראשון לבער איסוף נתונים פמ"ע ו-LAI מודדים, וכן לחשב מדדי צומח מהנתונים הספקטRELים מתוך תצלומי הרחפן ב-3 עצים המייצגים את חמשת המינים השולטים (אורן, אלון, אלה, ברוש, וחרוב) בכל חלקה (3 חלקות הפחחת גשם ו-3 חלקות ביקורת) בעיר ישע המערב. המטרה הבאה הייתה לבער ניתוח ראשוני ולנסות למצוא התאמה בין המדדים הספקטRELים לבין הפמ"ע המודד. **טבלה 1** מסכמת את מטרות העל והמטרות לשנה א'.

טבלה 1. סיכום מטרות ה

- רשיימה כללית של מטלות

 לביצוע הממחקר בשנה א' בעיר ישיי והסבירה.

שנה	מטרת על	רשיימה כללית של מטלות
א'	איסוף נתוני שטח	1. איסוף נתוני פמ"ע ו-LAI בחמישة מינים (אלון, אלה, ברוש, וחרוב) בחלוקת הניסוי (ביקורת + הפקחת גשם) בעיר המערבי בישעי 2. איתור חלוקות הומוגניות ואיסוף נתוני פמ"ע בסביבת ישיי
	איסוף נתונים ספקטרליים ולידר בחלוקת הניסוי	1. צילום חלוקות בעזרת רחפן בתדריות חדשנית בישעי
	ניתוח נתונים ראשוני	1. ניתוח ראשוני של נתונים פמ"ע מודדים 2. ניתוח ראשוני של נתונים LAI מודדים 3. ניתוח ראשוני של ממדים ספקטרליים מצלומי הרחפן 4. ניתוח ראשוני המקשר בין הממדים הספקטרליים לבין פמ"ע



איור 1. צילום שטח הממחקר בישעי כפי שמתתקבל ממזיאיקה של תצלומי הרחפן. חלוקות הפקחת הגשם מסומנות בכתום וחלוקת הביקורת בכחול. העצים שהם נמדד הפמ"ע מצוינים גם כן בתצלום

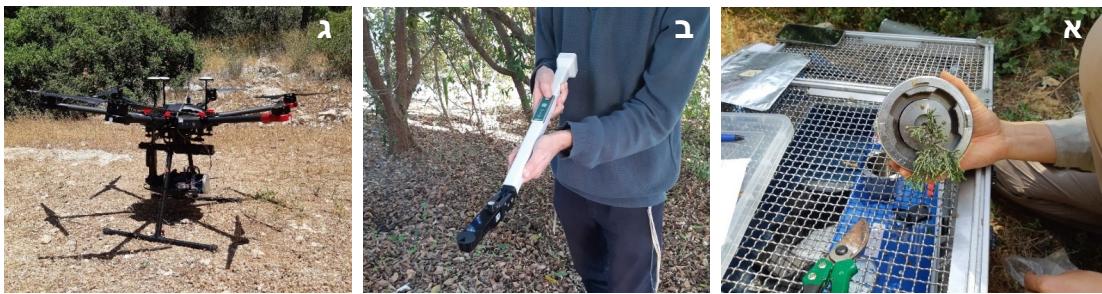
כאמור, השלב הראשון של המחקר מתבצע בעיר ישי, עיר ים תיכוני-מעורב בשפלת יהודה. המחקר בישעி מתמקד ב-5 מיני עצים – אורן ירושלים, אלון מצוי, ברוש, אלת המSTITיק וחרוב. המחקר מתבצע במתכונת של הפחחת גשם – כאשר ב-3 חלקות מותקנת מערכת הפחחת גשם (הפחחתה של כ-30%. השטח המסומן בכחול, [איור 1](#)), ו-3 חלקות המשמשות כביקורת (השטח המסומן בכחול, [איור 1](#)).

2. שיטות

המדידות נערכו עד כה בתדריות של פעם בחודש, כאשר לא בהכרח כל המדדים נאספו בכל תאריך מסיבות טכניות שונות ([טבלה 2](#)). פוטנציאל המים בעלה (LWP) נמדד באמצעות תא לחץ ([איור 2א](#)). התפתחות חופת העצים נמדדת בעזרת אינדקס שטח עלווה (LAI), והמדידה מתבצעת באמצעות מכשיר Licor 2200C ([איור 2ב](#)). נתונים ספטרליים נאספים באמצעות מצלמה היפר-ספקטרלית מסוג Headwall Photonics Nano-Hyperspec של חברת DJI Matrice 600 Pro ([איור 2ג](#)), אשר הנתונים ננומטר (274 ערוצים) מותקנת על גבי רחפן (הריזולוציה המרחבית המתקבלת היא של כ-2 ס"מ נספחים מגובה של 60 מטרים מעל פני הקרקע (הריזולוציה המרחבית המתקבלת היא של כ-2 ס"מ לפיקסל).

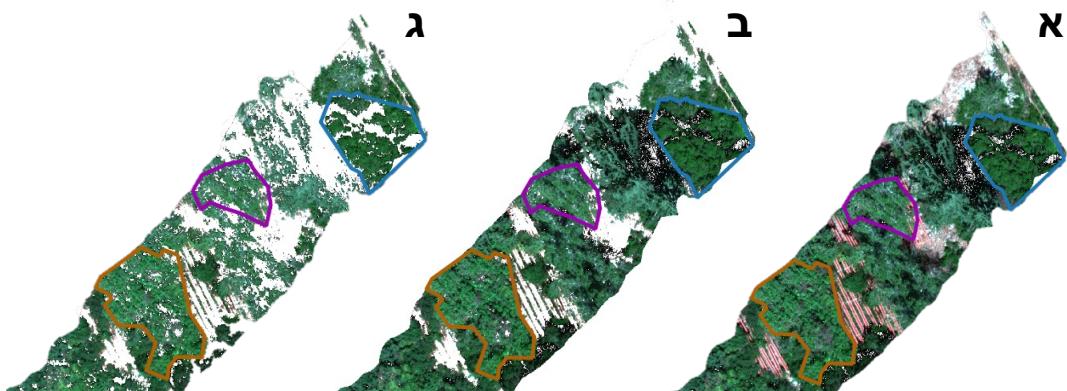
טבלה 2. מדידות שלגביהן יש נתונים לאורך חודשי המחקר פברואר 2022 – ינואר 2023.

LWP	LAI	דמויי רחפן	חודש
V			10/21
			11/21
V			12/21
V			1/22
V			2/22
V	V	חלקי	3/22
V	V	V	4/22
V	V	V	5/22
V	V		6/22
V	V	V	7/22
V	V	V	8/22
V	V	חלקי	9/22
V	חלקי		10/22
V	V	V	11/22
V	V	V	12/22
V	V	V	1/23



איור 2. מכשירי המדידה (א) תא הלחץ למדידת פמ"ע, (ב) מכשיר ה-LI-2200C למדידת אינדקס שטח העלוה (LAI), ו-(ג) רחפן ה-Pro DJI Matrice 600 עם המצלמה ההיפרספקטרלית Nano Hyperspec ומערכת הלידר.

על מנת לייצר את המדדים הרלוונטיים לחופות העצים, הנוטנים הספקטרליים עוברים תהליכי עיבוד ראשוני הכלול, עיגון מרחבי, חישוב החזריות בעזורת משטח ייחוס המוצב בשטח, וכן תהליכי של יצירת מזואהיקה לתצלום מרחבי רציף (איור 3א). לאחר העיבוד הראשוני, אנו מבצעים מיסוך של פיקסלים לא מייצגים בשני שלבים (איור 3). בשלב ראשון, ממוסכים פיקסלים בעלי ערך NDVI קטן עליה בעזורת ערך סף של אינדקס ה-NDVI. במקורה שלנו, מצאנו שפיקסלים בעלי ערך סף NDVI מ-0.3 מייצגים בעיקר קרקע או צומח עשבוני בתת הייער (איור 3ב). בשלב ב', אנו ממסכים פיקסלים מוצלים (עם צל), המשפיעים על החזריות של העצים. לצורך כך, השתמשנו בעובדה שהחזריות של שטח מוצל מואפין בערכיהם נמכרים יחסית של החזריות בערוצי האינפרה-אדום. גם כאן השתמשנו בערך סף בצד לנקות את התמונה ולהישאר רק עם פיקסלים מייצגים של העצים (איור 3ג).



איור 3. דוגמה למיסוך פיקסלים לא רלוונטיים בדיםות הרחפן. (א) בדיםות ניתן לראות את הקרקע, מערכת הפחתת הגשם (צינורות כתומים בתמונה), וצל. (ב) בשלב ראשון, עשינו שימוש בערך סף של $NDVI = 0.3$ כדי להיפטר מפיקסלים של קרקע,عشובניים בתת-הייער ומערכת הפחתת הגשם. (ג) בשלב שני, השתמשנו בערך סף לחזריות בתחום האינפרה-אדום ובידיעה שבאזורים צל, החזריות בתחום הנ"ל קטנה משמעותית מבאזורים מוארים.

לאחר שנותרנו רק עם הפיקסלים שמייצגים את חופות העצים, מתבצע מיזוג של ערכי החזריות של כל הפיקסלים לכל אחד מהערוצים שהמצלמה מצלמת בהם (כאמור, 274 ערוצים בתחום 400-1000 ננומטר), ומתוקן ערכיהםallo מחושבים האינדקסים עבור כל עץ בנפרד.

3. תוצאות ראשוניות שנה א'

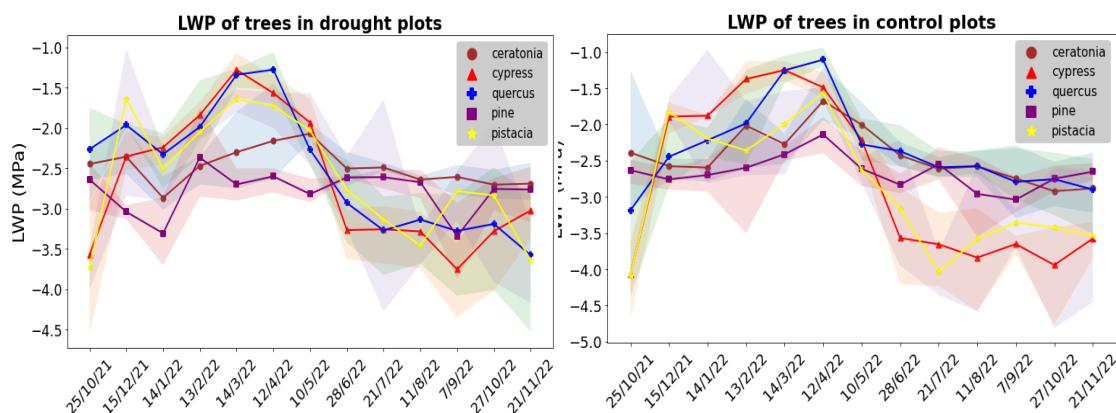
בחלק זה נציג את תוצאות הממחקר עד לחודש נובמבר 22 (תוצאות מאוחרות יותר נמצאות עדין בתהליכי עיבוד).

כיוון שהמחקר נערך על ידי שתי קבוצות שונות, בחלק מהמדידות ישנו טווח תאריכים שונה. בנוסף, עקב בעיות מזג אוויר, ציוד וכו', ישנו מספר תאריכים בהם לא קיימת תוצאה לחלק המדידות. המדידות התקינות שברשותנו מפורטות, כאמור, **בטבלה 2** לעיל.

3.1 מדידות פמ"ע (LWP)

פוטנציאל המים בעלי נמדד בכל המינים החל מאוקטובר 21.

הдинמיקה של פוטנציאל המים במינים השונים הראה את השינויים העוניים, עם ערבים שליליים יותר במהלך הקיץ (איור 4), בין בחלוקת ההפחטה ובין בביטחון. עם זאת, ניתן לראות שהחרוב והאורן שומרם על LWP אחד יחסית (סביר 2.5- מגה-פסקל), ואילו האלה, הברוש והאלון מציגים השתנות משמעותית יותר לאורך העונה (2- מגה-פסקל ומעלה בחורף-אביב, ועד 3.5- מגה-פסקל בשיא הקיץ).



איור 4. שינויים בפוטנציאל המים בעליים במינים השונים. הנקודות מייצגות ממוצע של המין בשלושת החלקות (אך אחד לכל חלקה). השטח הצבוע מייצג את הטווח שבין ערכי המקסימום והמינימום שנמדד בכל תאריך.

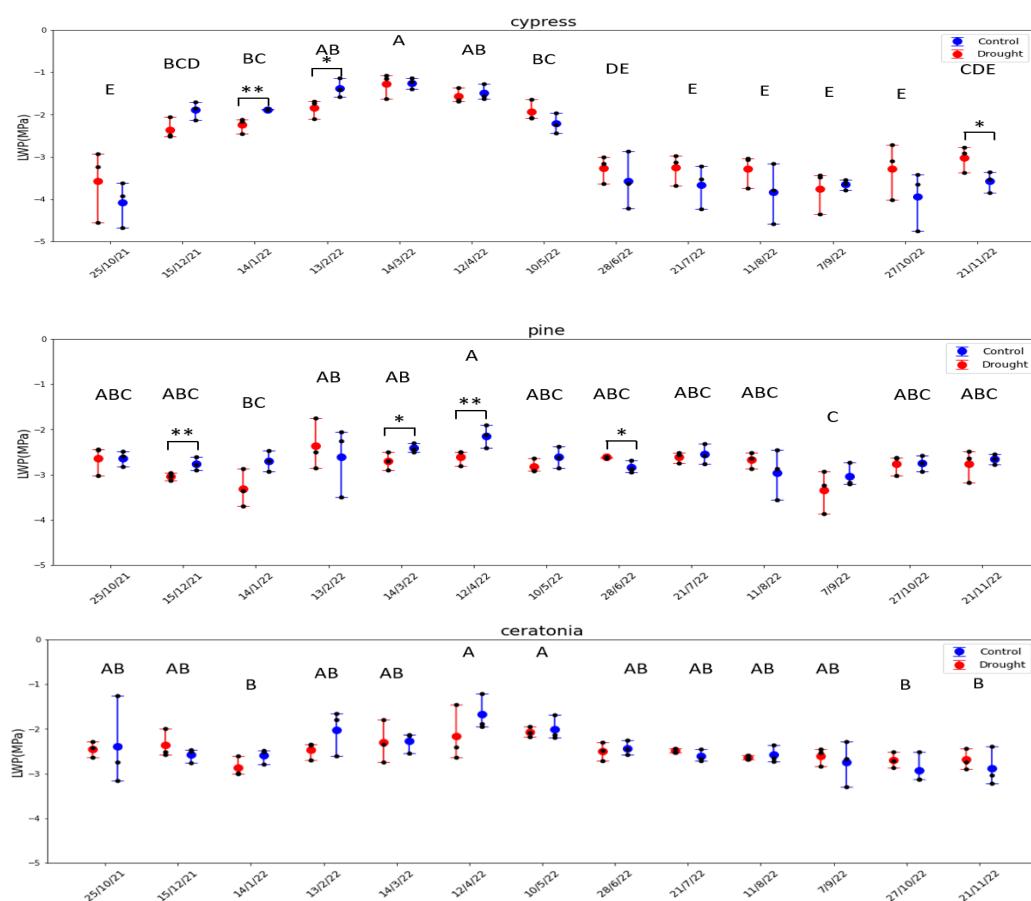
על מנת לבדוק האם במהלך השנה הראשונה לניסוי נוצר הבדל בפוטנציאל המים בין העצים בחלוקת ההפחטה והעצים בחלוקת הביקורת, הרצינו ניתוח סטטיסטי ANOVA על נתוני LWP.

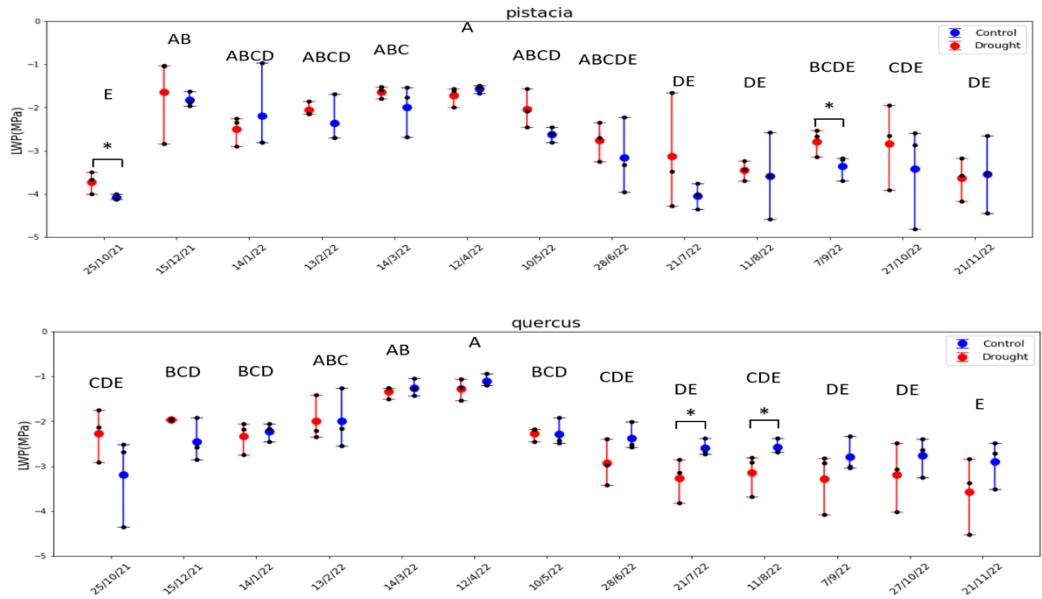
תוצאות הניתוח מוצגות **בטבלה 3** ובאיור 5 למטה.

ניתן לראות כי למרות שינוי השפעה של הטיפול בחלוקת, באינטראקציה של השפעת המין והטיפול אין השפעה משמעותית – ככלומר שבסופה של דבר במהלך השנה הראשונה לא ניתן לראות שኖצר הבדל בין המינים השונים בחלוקת ההפחטה לעומתחלוקת הביקורת. עם זאת, ניתן לראות שהשתנות לאורך הזמן הינה מובהקת סטטיסטית ובמיוחד באלה, האלון והברוש (כפי שניתנו היה לראות גם באיזור 4), וכן יש הבדל מובהק בין המינים השונים לאורך הזמן.

טבלה 3. ניתוח סטטיסטי ANOVA של השפעת מין (Species), זמן (Time), וטיפול הפחחתת הגוף (Water) על ערכי הפמ"ע (LWP). המובאות חושבה לאחר בדיקת התפלגות נורמלית של הנתונים באמצעות ניתוח Shapiro-Wilk, ולפי רמת מובהקות של $p < 0.05$ בשל המדגם היחסית קטן. השפעה מובהקת ברמת $p < 0.1$ מסומנת באדום.

Factor	F Ratio	Prob > F
Species (S)	4.60	0.0013
Time (T)	25.03	<0.0001
Water (W)	4.17	0.042
S × T	2.32	<0.0001
S × W	0.38	0.82
T × W	1.54	0.11
S × T × W	0.71	0.92





איור 5. סדרות עיתיות של פמי"ע בשני טיפולים הגשם. נעשה מבחן Tukey על ההבדלים בין ערבי ה-LWP בין הטיפולים והתאריךיכים השונים.אותיות שונות מייצגות הבדל מובהק בין התאריכים. הבדל מובהק בין הטיפולים (חלקות הפחתה מול ביקורת) סומן בכוכבית, כאשר הבדל משמעותי ברמת סמך של 0.1 סומן ב-* והבדל משמעותי ברמת סמך של 0.05 סומן ב-**.

3.2. מדדים ספקטרליים

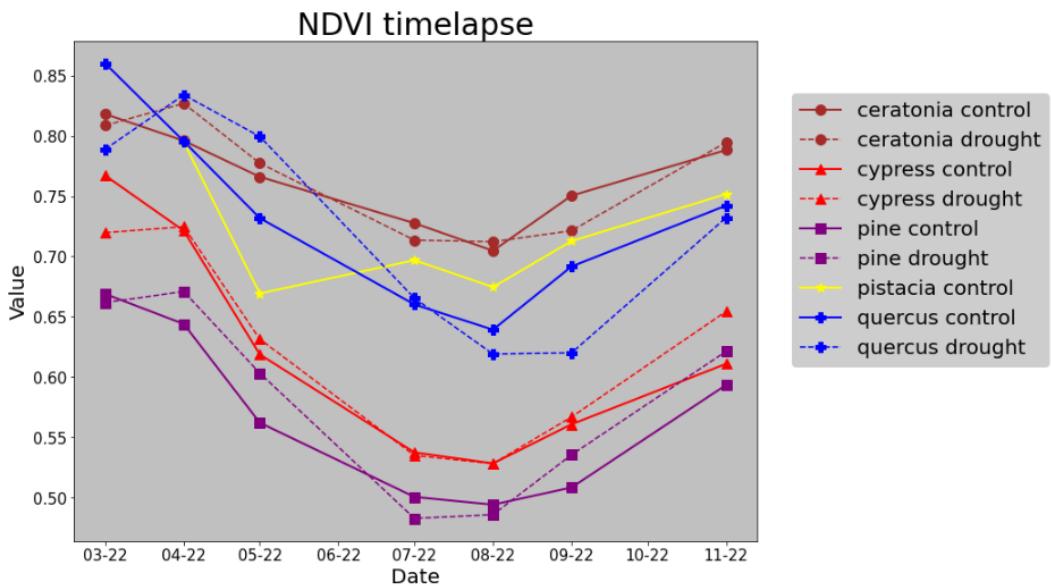
להלן מוגנות תוצאות עבור המדדים הספקטרליים : PRI, NDVI, NDWI.

יש לציין שכיוון שאלת המסתיק (Pistacia) הינה שיח נמוך המצויה בתת העיר, בחלק מהחלוקת אין לנו מדדים ספקטרליים עבורה, כיוון שהסתבר שחויפות העצים הגבוהים יותר מסתירים אותה ולא ניתן לצלם אותה מהאוויר. מסיבה זו, הורדנו מהניתוח הסטטיסטי של כל המינים את האלה, ובגרפים של מבחן Tukey יופיע רק חלקות הביקורת ולא חלקות הפחתת הגשם (שסבירו/alot מושתרות).

בנוסף, יש לציין כי בחודשים 3 ו-9 עקב תקלת טכנית אין נתונים עבור חלקות הביקורת 3 ו-4, ולכן בתאריכים אלו נשתמש רק בנתונים מחלוקת מס' 1.

3.2.1. מדד ה-NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

מדד ה-NDVI, Normalized Difference Vegetation Index, היו מדד ספקטרלי מקובל שמייצג את מידת הדומיננטיות של חומר צמחי בדיםות. **איור 6** ניתן לראות את השינויים העונתיים של ה-NDVI במינים השונים – באופן כללי ניכרת ירידת NDVI לאורץ הקיז, ועליה לקראת החורף. ניתן להבחין גם בהבדל שבין המינים השונים – כאשר ישנה הדרגה של חרוב < אלה > אלון < אורן, שנובעת מגודל וצפיפות העלים השונים שלהם.

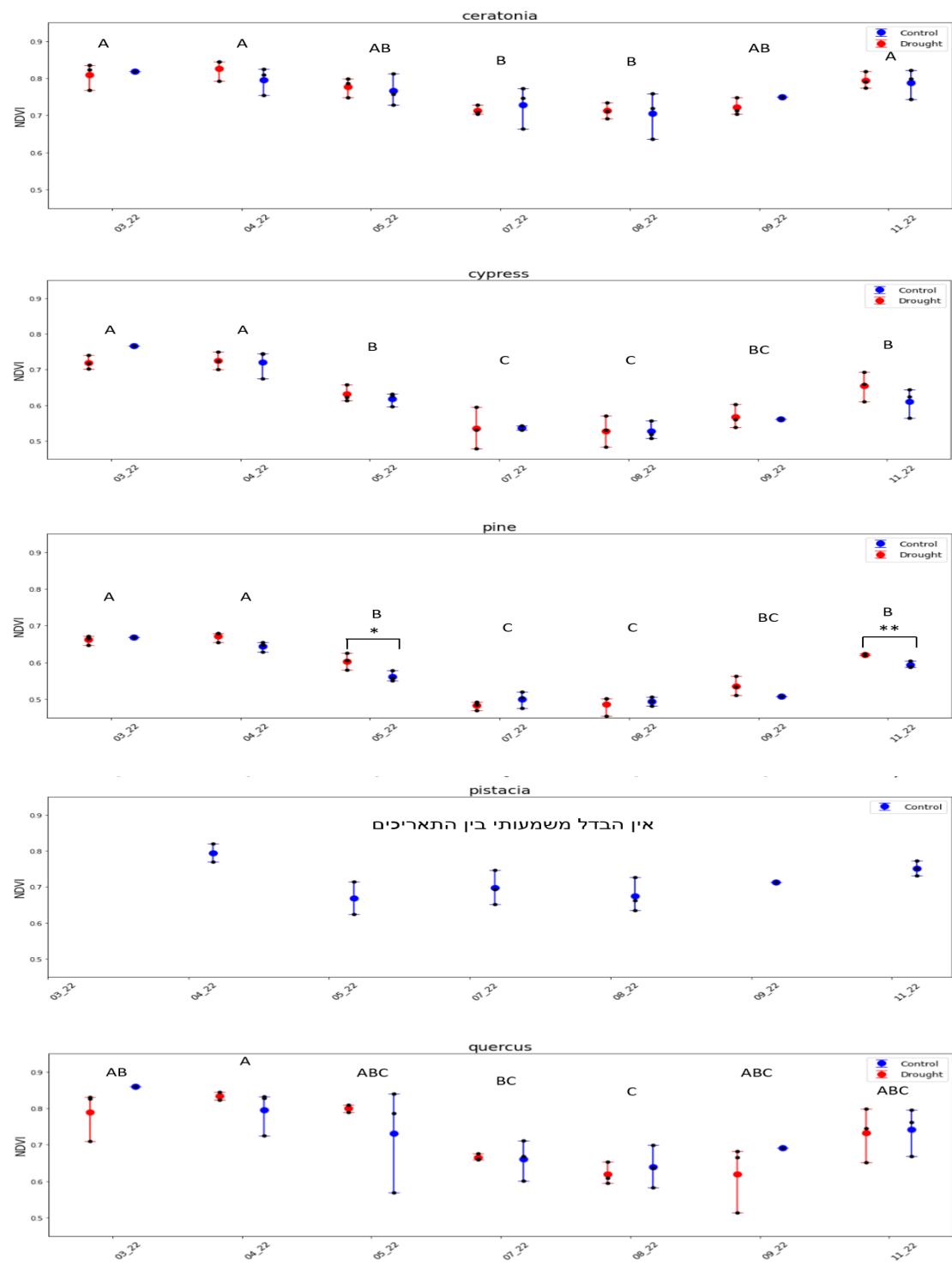


איור 6. השתנות ה-NDVI לאורך העונה. כל נקודה מייצגת את ערך ה-NDVI שחושב עבור שלושת העצים מכל מין בשלושת החלקות.

גם כאן, הניתוח הסטטיסטי (טבלה 4 ואייר 7) מראה שבעוד השתנות ה-NDVI לאורך הזמן מובהקת (בלבד באלה, אולם בה חסרים נתונים רבים), ההבדלים בין חלוקות ההפחתה והביקורת במינים השונים אינה מובהקת.

טבלה 4. ניתוח סטטיסטי ANOVA של השפעת מין (Species), זמן (Time), וטיפול הפחחתת הגשם (Water) על ערכי NDVI ממוצע לחלקה. המובהקות חושבה לאחר בדיקת התפלגות נורמלית של הנתונים בעזרת ניתוח Shapiro-Wilk, ולפי רמת מובהקות של $p < 0.1$ בשל המדגם היחסית קטן. השפעה מובהקת ברמת $p < 0.05$ מסומנת באדום, וברמת מובהקות $p < 0.1$ באפור.

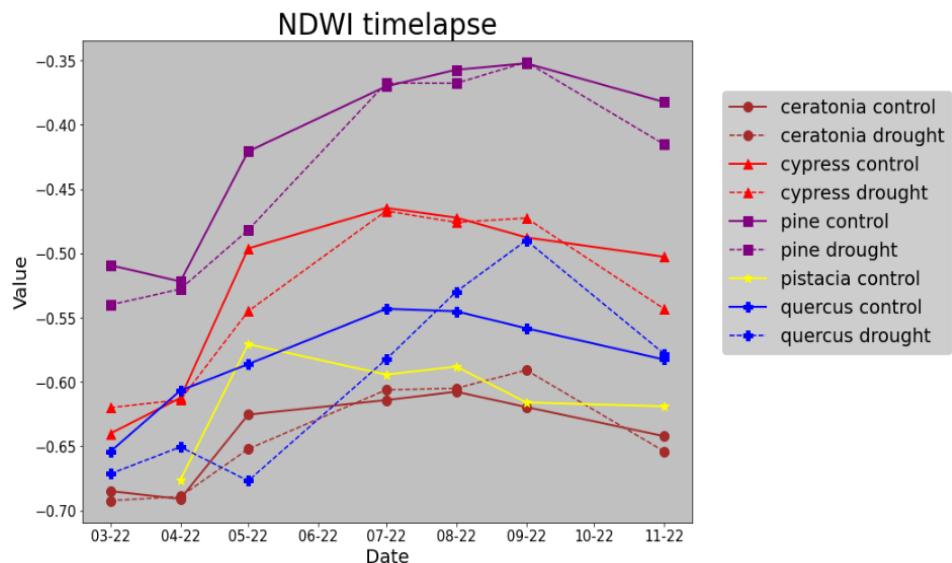
Factor	F Ratio	Prob > F
Species (S)	3.36	0.022
Time (T)	44.92	<0.0001
Water (W)	0.47	0.49
S × T	26.93	<0.0001
S × W	0.10	0.96
T × W	1.98	0.08
S × T × W	1.55	0.09



איור 7. סדרות עיתיות של מדד NDVI בשני טיפולים הגשם. נעשה מבחן Tukey על ההבדלים בין ערביי NDVI בין הטיפולים וההתאריכים השונים. אותיות שונות מייצגות הבדל מובהק בין התאריכים. הבדל מובהק בין הטיפולים (חלקות הփחתה מול ביקורת) סומן בכוכבית, כאשר הבדל משמעותי ברמת סמך של 0.1 סומן ב-* והבדל משמעותי ברמת סמך של 0.05 סומן ב-**.

מדד ה-NDWI (Normalized Difference Water Index) .3.2.2

מדד ה-NDWI (Normalized Difference Water Index), הוא אינדקס מוכר, שנועד לבדוק עד כמה העצים שבבדימות דומות למים. באיור 8 ניתן לראות שהNDWI של המינים השונים מראה גם הוא התנהלות עונתית, אבל הפוכה מהNDVI- בקייז NDWI עולה ובחורף יורדת.

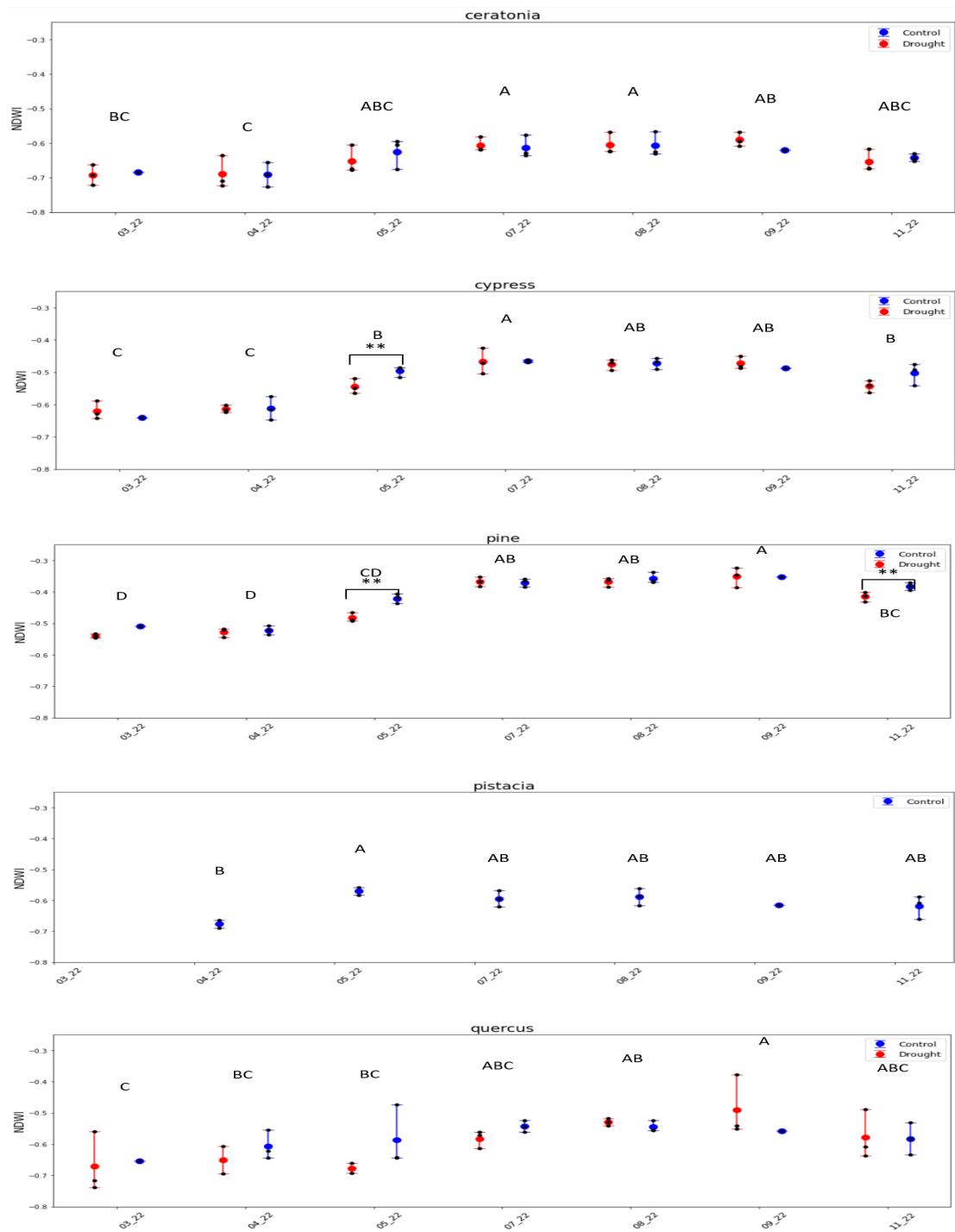


איור 8. השתנות ה-NDWI לאורך העונה. כל נקודה מייצגת את ערך ה-NDWI כפי שהוא עבור שלושת העצים מכל מין בשלושת החלקות.

הניתוח הסטטיסטי (טבלה 5 ואיור 9) מראה כי ישנה השתנות מובהקת לאורך הזמן, אך אין כלל הבדל מובהק בין חלוקות הביקורת וההיפותזה.

טבלה 5. ניתוח סטטיסטי ANOVA של השפעת מין (Species), זמן (Time), וטיפול הפחחתת הגשם (Water) על ערכי NDWI ממוצע לחalkka. המובקהות חושבה לאחר בדיקת התפלגות נורמלית של הנתונים בעזרת ניתוח Shapiro-Wilk, ולפי רמת מובהקות של <0.1 בשל המדגם היחסית קטן. השפעה מובהקת ברמת <0.05 מסומנת באדום, וברמת מובהקות <0.1 באפור.

Factor	F Ratio	Prob > F
Species (S)	2.53	0.06
Time (T)	31.59	<0.0001
Water (W)	0.52	0.47
S × T	9.22	<0.0001
S × W	1.15	0.33
T × W	0.70	0.65
S × T × W	0.50	0.95

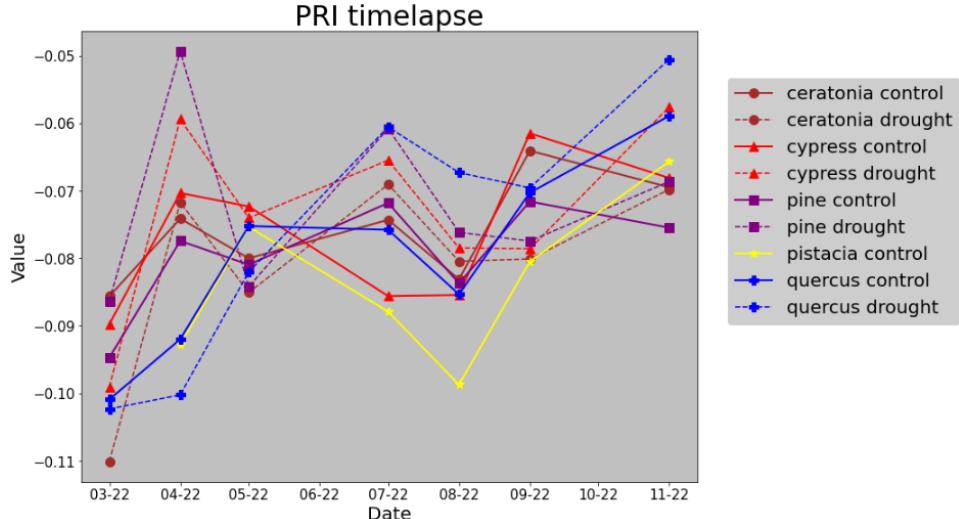


איור 9. סדרות עיתיות של מדד NDWI בשני טיפולים הגשם. נעשה מבחן Tukey על ההבדלים בין ערכי NDWI בין הטיפולים והతאריכים השונים. אותיות שונות מייצגות הבדל מובהק בין התאריכים. הבדל מובהק בין הטיפולים (חלקות הבחנה מול ביקורת) סומן בכוכבית, כאשר הבדל משמעותי ברמת סמך של 0.1 סומן ב-* ובדל משמעותי ברמת סמך של 0.05 סומן ב-**.

.3.2.3 מדד ה-PRI (Photochemical Reflectance Index)

הוּא מדד ספקטורי מקובל המאפשר להעריך את הפעילות הפוטוסינטטיות בצמחים. Photochemical Reflectance Index,PRI

מההתבוננות באיור 10 קsha לזהות השינויים עונתיים ברורה עברו מדד ה-PRI, למעט אולי עבור האלון.

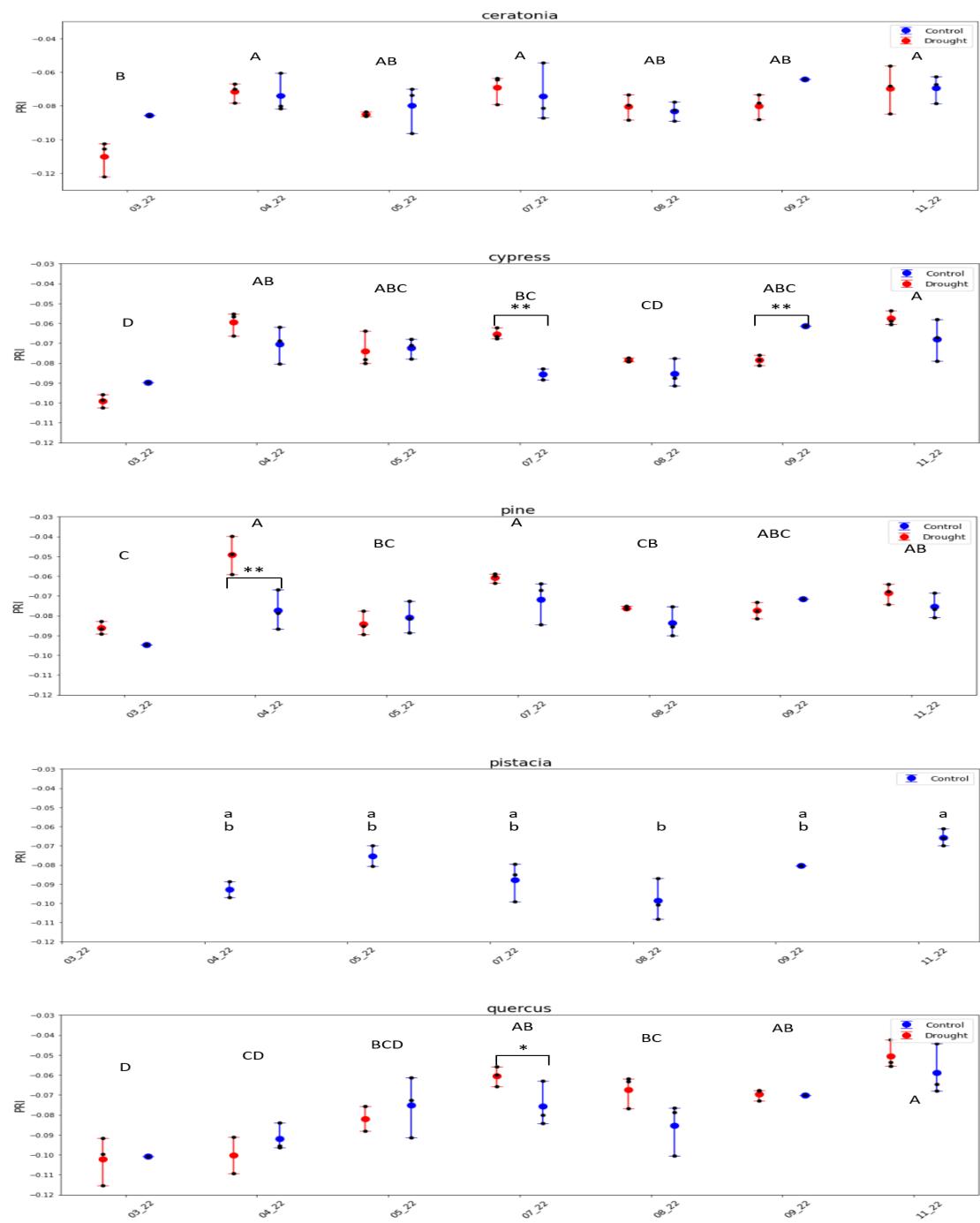


איור 10. השינויים PRI לאורך העונה. כל נקודה מייצגת את ערך PRI שחושב עבור שלושת העצים מכל מין בשלושת החלקות.

מайдך, הניתוח הסטטיסטי המוצג בטבלה 6 וαιור 11 מעלה שניתן לזהות השפעה של אופן הטיפול על ערכי ה-PRI.

טבלה 6. ניתוח סטטיסטי ANOVA של השפעת מין (Species), זמן (Time), וטיפול הפחחתת הגשם (Water) על ערכי PRI ממוצע לחלקה. המובחיקות חושבה לאחר בדיקת התפלגות נורמלית של הנתונים בעזרת ניתוח Shapiro-Wilk, ולפי רמת מובהקות של $p < 0.1$ בשל המדגם היחסית קטן. השפעה מובהקת ברמות $p < 0.05$ מסומנת באדום, וברמת מובהקות $p < 0.1$ באפור.

Factor	F Ratio	Prob > F
Species (S)	0.91	0.44
Time (T)	21.1	<0.0001
Water (W)	1.81	0.18
S × T	3.93	<0.0001
S × W	1.94	0.13
T × W	4.48	0.0005
S × T × W	1.08	0.39

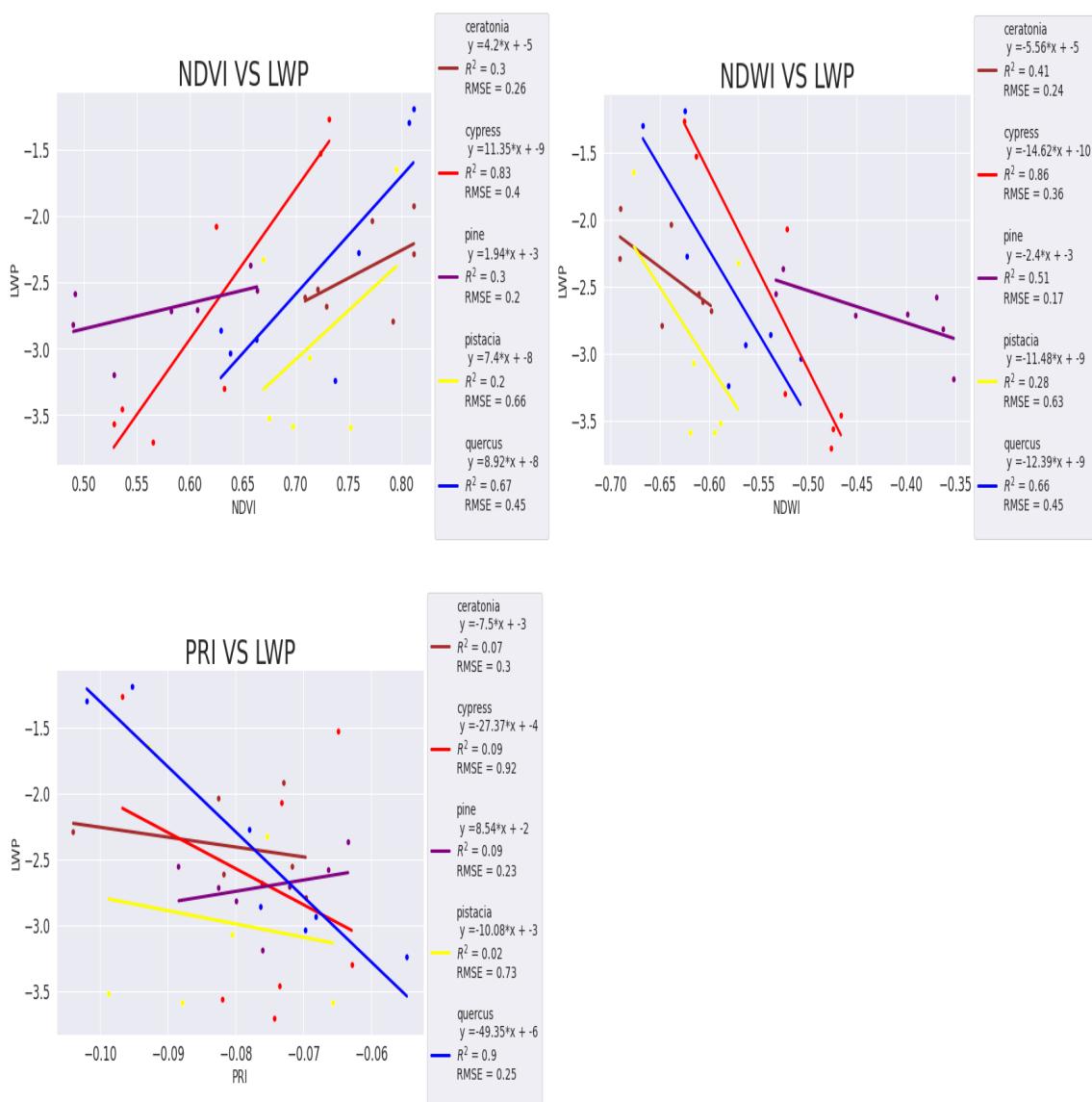


איור 11. סדרות עיתיות של מדד h-PRI בשני טיפולים הגשם. נעשה מבחן Tukey על ההבדלים בין ערבי h-PRI בין הטיפולים וההתVICים השונים. אותיות שונות מייצגות הבדל מובהק בין התVICים. הבדל מובהק בין הטיפולים (חלוקת הפחתה מול ביקורת) סומן בכוכבית, כאשר הבדל משמעותי ברמת סמך של 0.1 סומן ב-* והבדל משמעותי ברמת סמך של 0.05 סומן ב-**.

3.3. מדדים ספקטרליים מול פמ"ע מודוד

בשלב ראשון אחדנו את מדדי הפמ"ע והמדדים הספקטרליים (NDVI, NDWI, PRI) עבור כל העצים פרטאריך. מכיוון שלא הייתה שונות מובהקת בין טיפול הגשם, מצינו את העצים עבור כל ששת החלקות (בפרט שעבור האלה, יש לנו 4 עצים בלבד שניתן להפיק מהם מדדים ספקטרליים).

אייר 12 ניתן לראות שעבור מדד ה-NDWI, המציג בדרך כלל את כמות המים בעלואה, התקבלה התאמה טוביה עם פמ"ע עבור כמעט כל המינים (למעט האלה, שהרתה התאמה של $R^2 = 0.28$ בלבד). ההסתrema עם NDVI הייתה סבירה רק עבור הברוש והאלון המצוי, בעוד ההסתrema של PRI (בלבד). עם פמ"ע הייתה טוביה מאוד עבור האלוון ($R^2 = 0.90$), אך גרועה עבור כל שאר המינים ($R^2 < 0.1$).



אייר 12. רגרסיה ליניארית בין המדדים הספקטרליים NDVI, NDWI, PRI לבין פמ"ע. מתואם ה- R^2 וכן השגיאה RMSE מוצגים בסמוך לכל גרפ. הרגרסיה נעשתה עבור כל מין בנפרד ומיצגת בצלע שונה. כל נקודה על הגרף מהוות ערך ממוצע עבור 6 עצים (למעט האלה שמיוצגת רק ע"י 4 עצים) לתאריך מסויים.

4. סיכום

בשלב זה של המחבר (לאחר שנה מתחילה הפחתת הגשם ומדידות ה-LWP, ו-9 חודשים של מדידת LAI ומדדים ספקטראליים) נראה שעדין אין כמעט הבדל בין מצב העצים בחלוקת הפחתת הגשם וחלוקת הביקורת, והדבר מתברר בכל שיטות המדידה. עם זאת, ישנה השפעה עונתית ברורה על ה-LWP. השתנות העונתית זו משתקפת באופן חלקי במדדים הספקטראליים – כאשר כל מין מגיב באופן שונה בכל ממד. באופן מיוחד הציגינו הברוש והאלון בהתאם יפה לרוב המדדים.

ראינו שכאשר מבצעים מיצוע של כלל העצים בכל מין, מתקבלת התאמה טובה מאוד במדד ה-NDWI, ולעתים, במקרים מסוימים, גם במדדים NDVI ו-PRI. תוצאה זו מעודדת, כיוון שהיא מחייבת על כך שייתכן שגם למדידות ברזולוציה נמוכה יותר, הכוללות מספר גדול יותר של עצים, יש סיכוי לספק התאמה טובה ל-LWP. עם זאת, לא הצליחנו עדין למצוא ממד אחד שייתן התאמה מספקת טובה עבור כל המינים יחד.

בהמשך המחבר נסה לאתר מדדים ספקטראליים נוספים שיצלוו ליצור התאמה טובה עם המדידות המקובלות, וננטח את מדידות LAI כך שנחפש לראות התאמה גם בין ממד זה לבין השתנות העונתית שניכרת מהמדידות האחרות.

התכוון לשנה ב' כולל:

- המשך מדידות פמי"ע בחלוקת
- המשך צלום החלקות
- ניתוח הנתונים כנ"ל
- שימוש באינדקס מנורמל כללי עבור כל הזוגות האפשריים עם 274 הערכאים
- שימוש בחלוקת מכונה בתוספת משתנים/קבועים נוספים (כגון מדדים טופוגרפיים)
- הורצת נתוני לוויינים ברזולוציה גבוהה יחסית ומוצע נתוני הרחפן לרזולוציות נתוני הלויין
- השוואת ראשונית מול חלקות הומוגניות (בעזרת מדידות פמי"ע ונתוני לוויין)