



מה אנחנו למדים על התפקוד והדינמיקה של יערות המחט הבוגרים בישראל בעשור האחרון: לאן הם הולכים, ואיך זה תלוי בתנאי הסביבה? ממצאים מהמערך לניטור ארון טווח

יגיל אסם

טיילור ווילסון, יותם פרלמן, דניס לוז'קובי, אבנגו מנסטון, זאב כהן, ז'וזזה גרינצווייג, ג'ייסון ווגל, אפרת שפר, טרין פז-קגן, משה דובינין, יוסי משה, מור אשכנזי, אירה מור, מיכאל ספרינצין



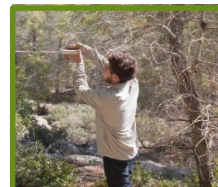
אבנגו מנסטון
MsC



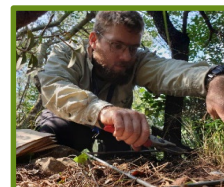
זאב כהן
MsC



משה דובינין
PhD



מור אשכנזי
MSc



דניס לח'קובי
MSc



יותם פרלמן
MSc



טיילור ווילסון
MSc





תכנית לניטור ארוך טווח ביערות אורן בוגרים

המטרה:

ניטור ארוך טווח של דינמיקת הצומח
ביערות אורן נטועים בוגרים:

- זיהוי מגמות
- איתור איומים
- הבנת הקשר לגורמי סביבה

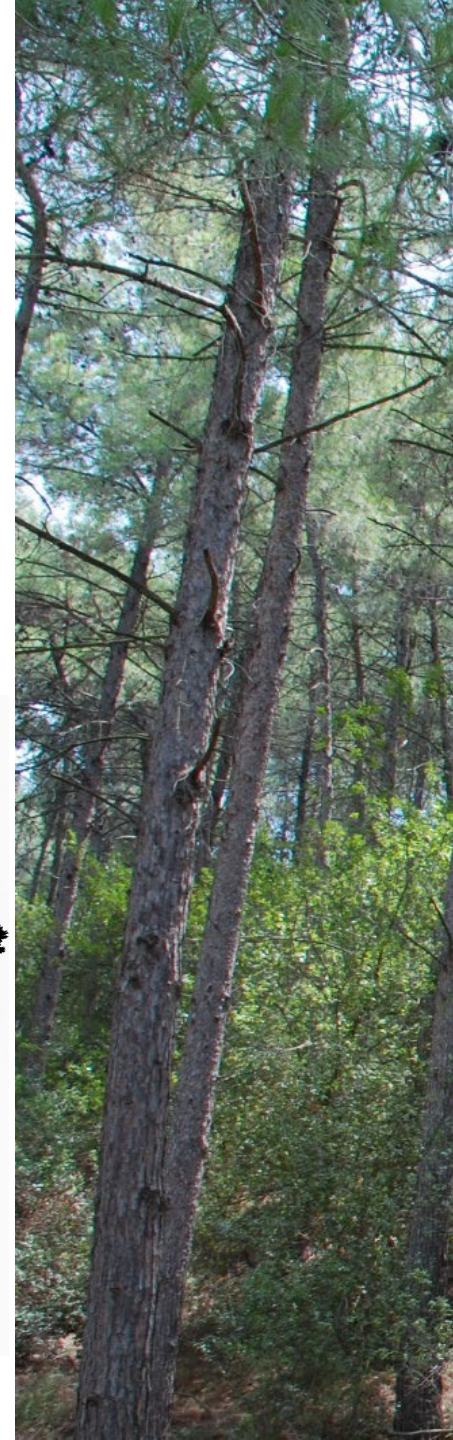
כדי להנחות את ניהול יערות האורן הבוגרים
ולעצבם כיערות בני-קיימא

מיקוד:

- יערות בוגרים (50-70 שנה)
- אורן ירושלים ואורן ברוטיה
- יער רב תכליתי
- צומח מעוצה (עצים ותת יער)
- גשם, מסלע, מפנה ורום

דינמיקה של עומד יער

חופת היער: צמיחה, תמותה = נפח עץ, כיסוי צמרות
תת היער: גיוס, צמיחה, תמותה = צפיפות, כיסוי, גובה
תפקוד: ייצור ראשוני, צריכת מים, יעילות ניצול מים



מערך הניטור

יערות אורן בוגרים

א. ירושלים - 48 חלקות

א. ברוטיה - 32 חלקות

גורמי סביבה

גשם - 250-850 מ"מ/שנה

רום - 50-850 מ' מעפ"י

מפנה - צפון, דרום

מסלע - קרבונטי רך, קשה

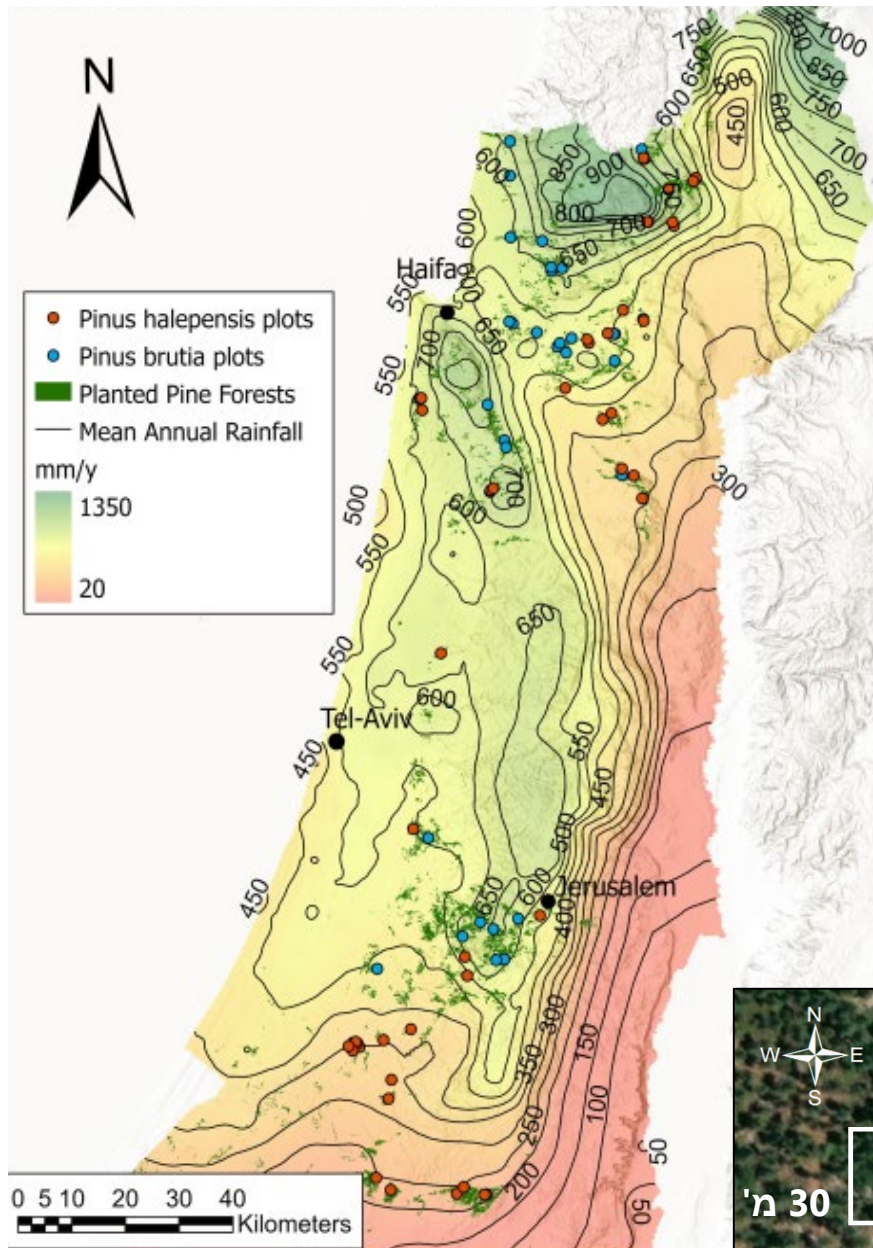
שיפוע - 4-28 מעלות

כיסוי סלע - 5-30%

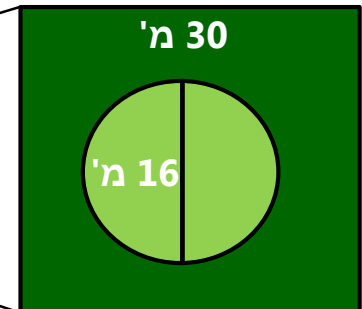
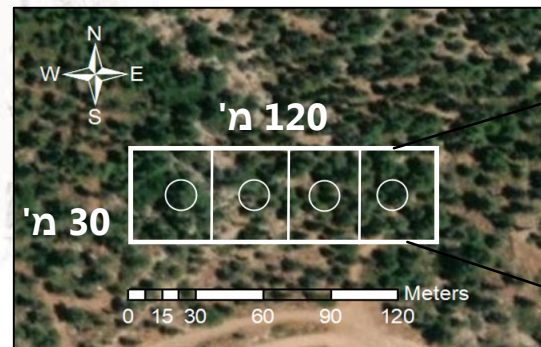
משתנים יערניים

גיל - 50-75 שנה

צפיפות - 5-42 עץ/דונם



(Wilson et al. 2025)





Sentinel 2a
2017-2025



מסע בזמן ושיטות מדידה



Landsat
(5,7,8)
1994-2014



LAI SunScan
2016-2020



סקר יערני
2015

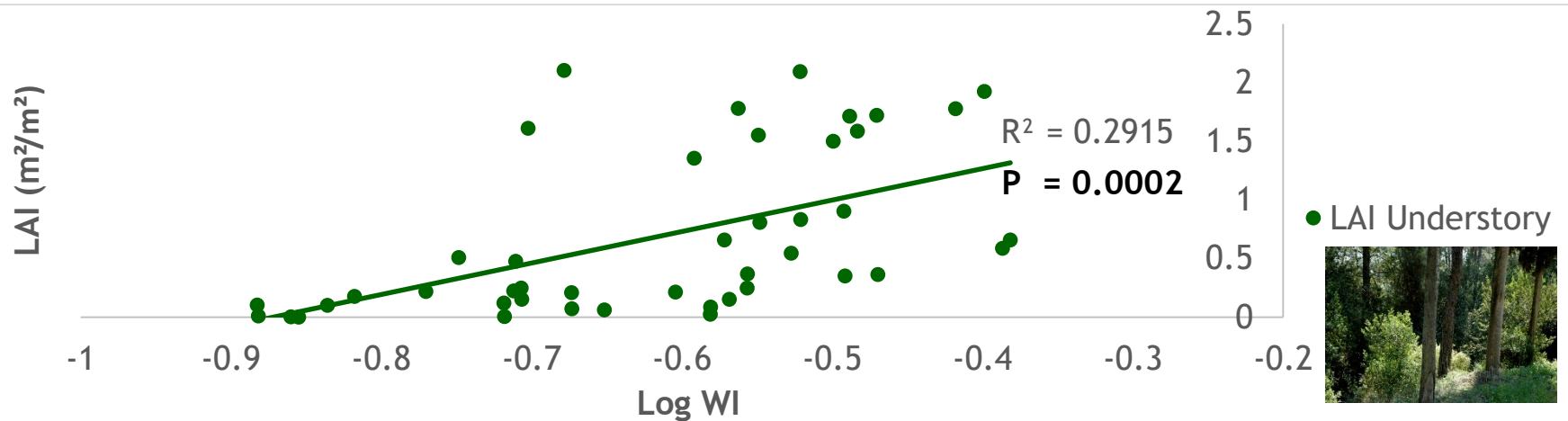
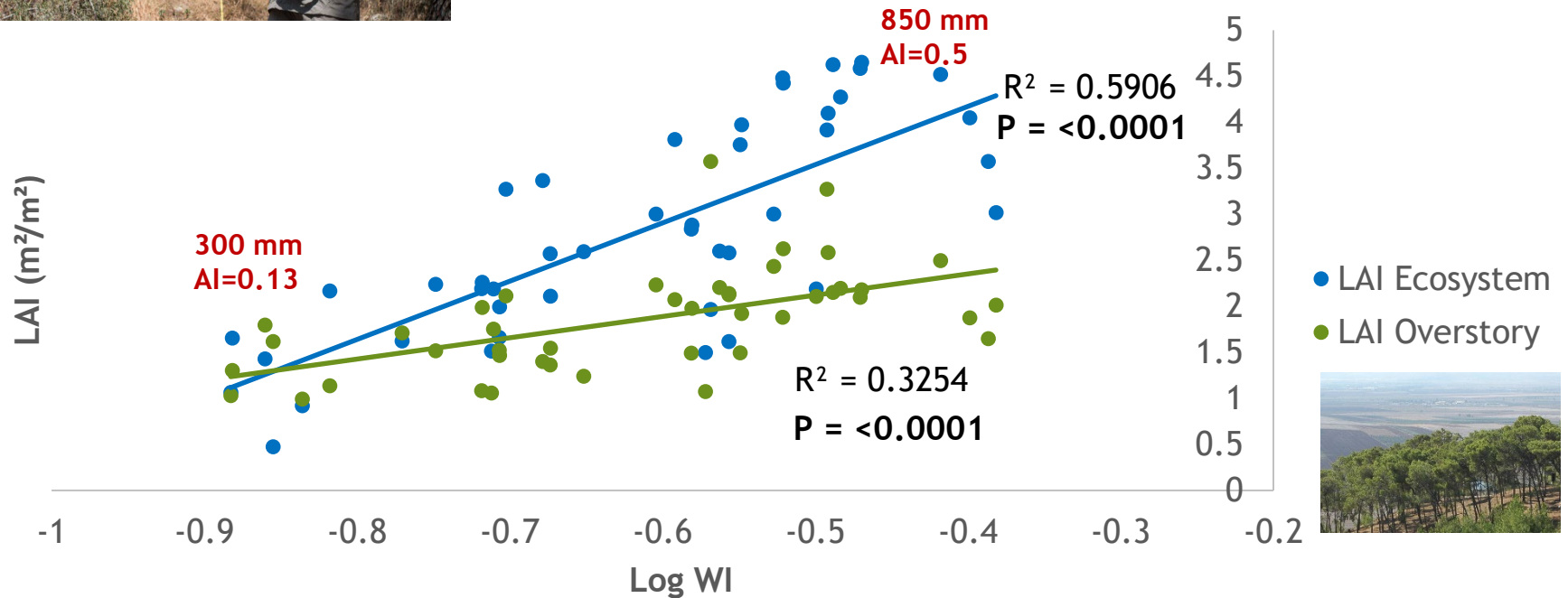


סקר יערני
2022

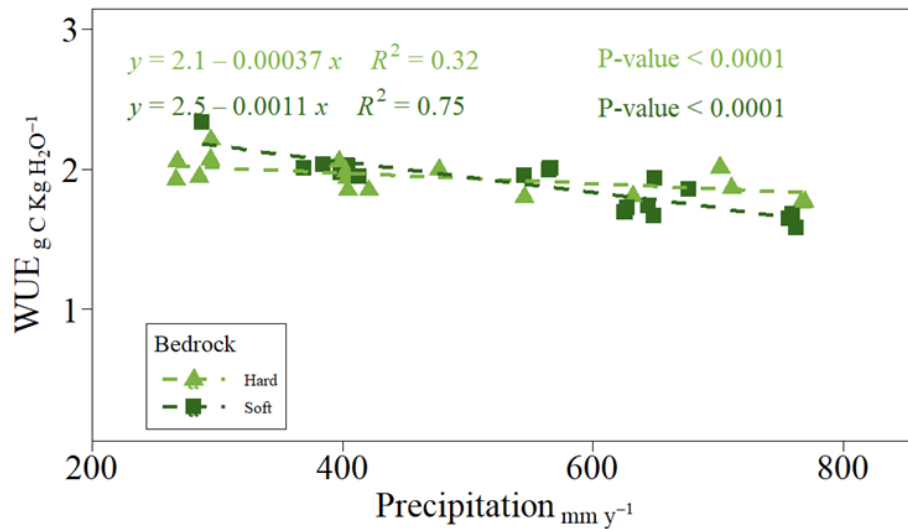
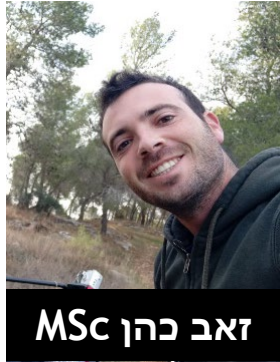


2026 2023 2020 2017 2014

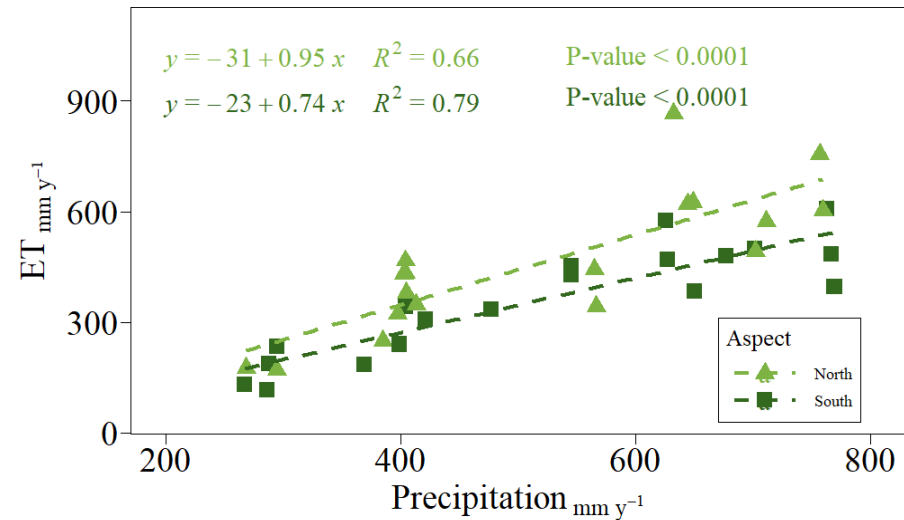
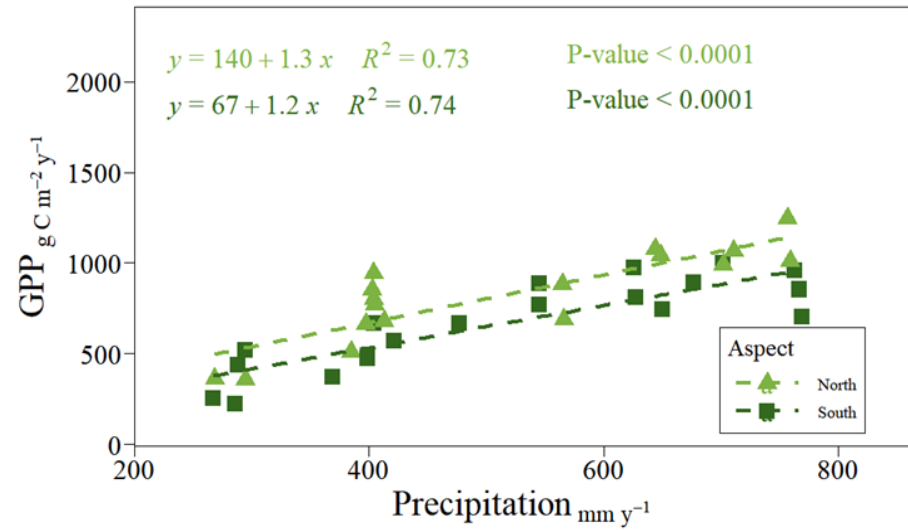
המבנה של יערות האורן הבוגרים על פני מפל היובש - 2014



תפקוד יערות האורן הבוגרים על פני מפל היובש - 2020

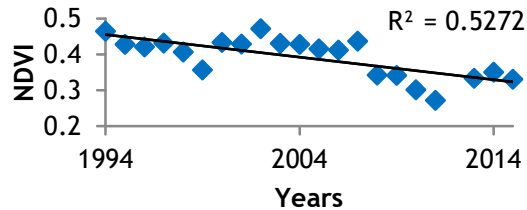


$$\text{WUE} = \text{GPP} / \text{ET}$$

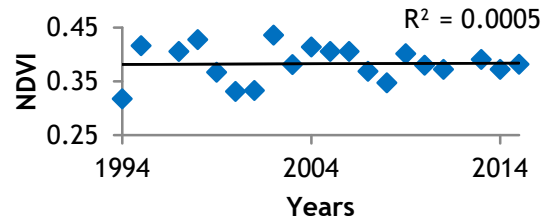


מגמה ר"ש של יערות אורן בוגרים לאורך מפל היובש - 1994-2014

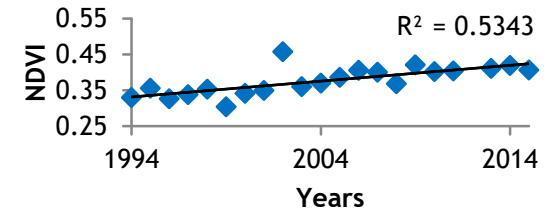
שחריה - 389 מ"מ



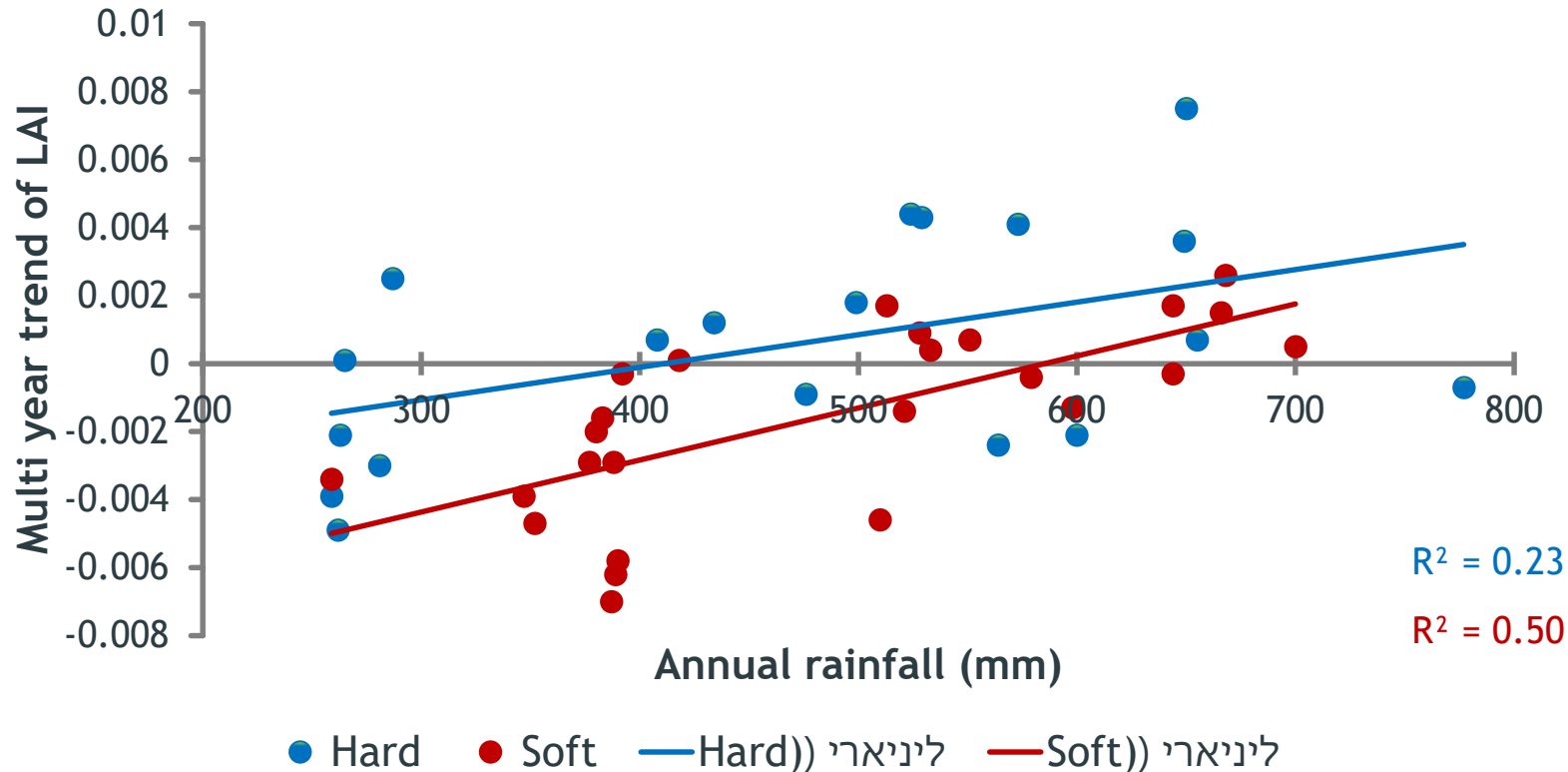
גלבוה - 418 מ"מ



מטע - 524 מ"מ



1994-2014



Landsat



יותם
פרלמן MSc

דינאמיקה של עצי חופת היער 2015-2022

א. ברוטיה

גובה - 14 מ' (11-19)
קוטר גזע - 30 ס"מ (24-40)
גידול יחסי - 3.7% בשנה

צפיפות - 20 עץ/דונם (7-30)
תמותה - 0.4 עצים לדונם בשנה
שיעור - 2% בשנה
(קשר שלילי לגשם וחיובי לרום $P < 0.5$)

שטח בסיס גזעים - 1.4 מ"ר לדונם
גידול יחסי - 1.8% בשנה

כיסוי צמרות - 43% (13-76)
ירידה בכיסוי - 2.4% בשנה
(קשר חיובי לגשם $P < 0.05$)

א. ירושלים

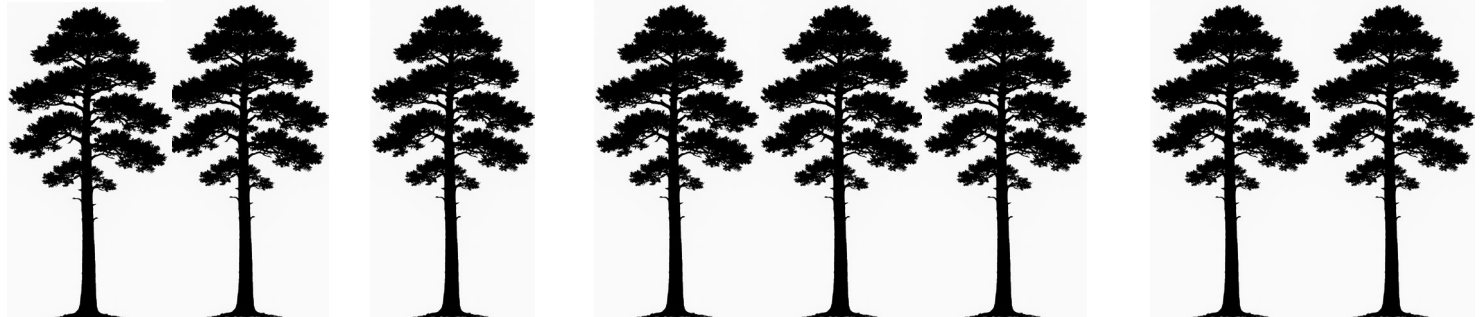
גובה - 14 מ' (8-22)
קוטר גזע - 32 ס"מ (21-55)
גידול יחסי - 4% בשנה

צפיפות - 14 עץ/דונם (4-31)
תמותה - 0.6 עצים לדונם בשנה
שיעור - 4% בשנה

שטח בסיס גזעים - 1 מ"ר לדונם
גידול יחסי - 0.7% בשנה
(קשר חיובי לגשם ושלילי לרום $P < 0.05$)

כיסוי צמרות - 34% (8-66)
ירידה בכיסוי - 1.4% בשנה

אבנו
מנסטון
MsC



דינאמיקה של תת היער 2015-2022



התחדשות אלונים

א. ירושלים

צפיפות זריעים - 13 זריעים לדונם (0-66)
תוספת זריעים - 0.3- זריעים לדונם בשנה
(קשר חיובי לגשם $P < 0.001$)

א. ברוטיה

צפיפות זריעים - 29 זריעים לדונם (0-156)
תוספת זריעים - 1.5 זריעים לדונם בשנה
(קשר חיובי למסלע קשה ולמפנה צפוני $P < 0.05$,
קשר שלילי לרום $P < 0.05$)

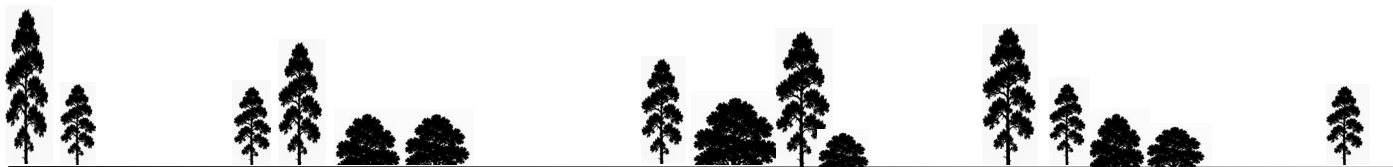
התחדשות אורנים

א. ירושלים

צפיפות זריעים - 183 פרטים לדונם (0-1900)
תוספת זריעים - 14 פרטים לדונם בשנה
(קשר חיובי למסלע רך וגשם $P < 0.05$)

א. ברוטיה

צפיפות זריעים - 57 פרטים לדונם (0-400)
תוספת זריעים - 1 פרטים לדונם בשנה
(קשר חיובי למפנה צפוני $P < 0.01$,
קשר שלילי לכיסוי חופה)



אבנן
מנסטון
MsC

מה למדנו על הדינאמיקה של מבנה היערות בעשור האחרון?

חופת היער

- העומדים הנטועים (חופת היער) נמצאים בנקודת היפוך, מהתפתחות (צמיחה) לנסיגה (תמותה).
- יערות א. ברוטיה צפופים ויצרניים יותר ומגמת הנסיגה שלהם פחותה בהשוואה ליערות א. ירושלים.
- מגמת הנסיגה גוברת ככל שבית הגידול יבש יותר (פחות גשם) ופוחתת ככל שבית הגידול נמצא ברום נמוך יותר (חם יותר?).
- הרגישות לגשם ורום גדולה יותר על מסלע רך ומפנים צפוניים.

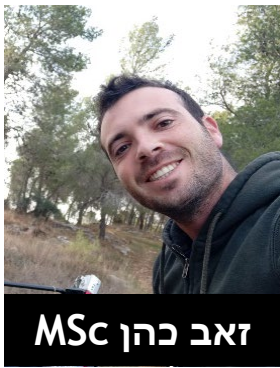
תת היער

- תת היער מתפתח באופן עקבי על ידי התחדשות עצי מחט, עצים רחבי עלים ומגוון שיחים ומטפסים.
- העלייה בכיסוי תת היער (1-1.5%) איטית יותר מהירידה בכיסוי חופת היער (2-4%).
- התחדשות אורנים רבה יותר ביערות א. ירושלים ומתגברת בתנאי מסלע רך, ריבוי גשם וחופת יער פתוחה.
- התחדשות אלונים רבה יותר ביערות א. ברוטיה ומתגברת בתנאי ריבוי גשם, מסלע קשה, מפנים צפוניים ורום נמוך.
- השפעות הגשם ניכרות בעיקר על מסלע רך.
- השפעות הרום ניכרות בעיקר על מפנים צפוניים.

מה צופן העתיד ליערות המחט הבוגרים?

- תמותה בחופת היער והתפתחות תת היער מובילים לחילוף בין דורי במהלך ה- 20 שנה הקרובות.
- ירידה בכמות הגשמים צפויה להאיץ את נסיגת חופת היער אבל גם עשויה להאט את התפתחות תת היער.
- עלייה בטמפ' עשויה להאט את התמותה בחופת היער אבל גם להאיץ התפתחות תת היער.
- לפתיחת חופת היער השפעה חיובית משלה על התפתחות תת היער.
- ההשפעות של שינויים בכמות הגשם צפויות להיות ניכרות יותר בבתי גידול עם מסלע רך.
- ההשפעות של שינויים בטמפ' עשויות להיות ניכרות יותר על מפנים צפוניים.





זאב כהן MSc



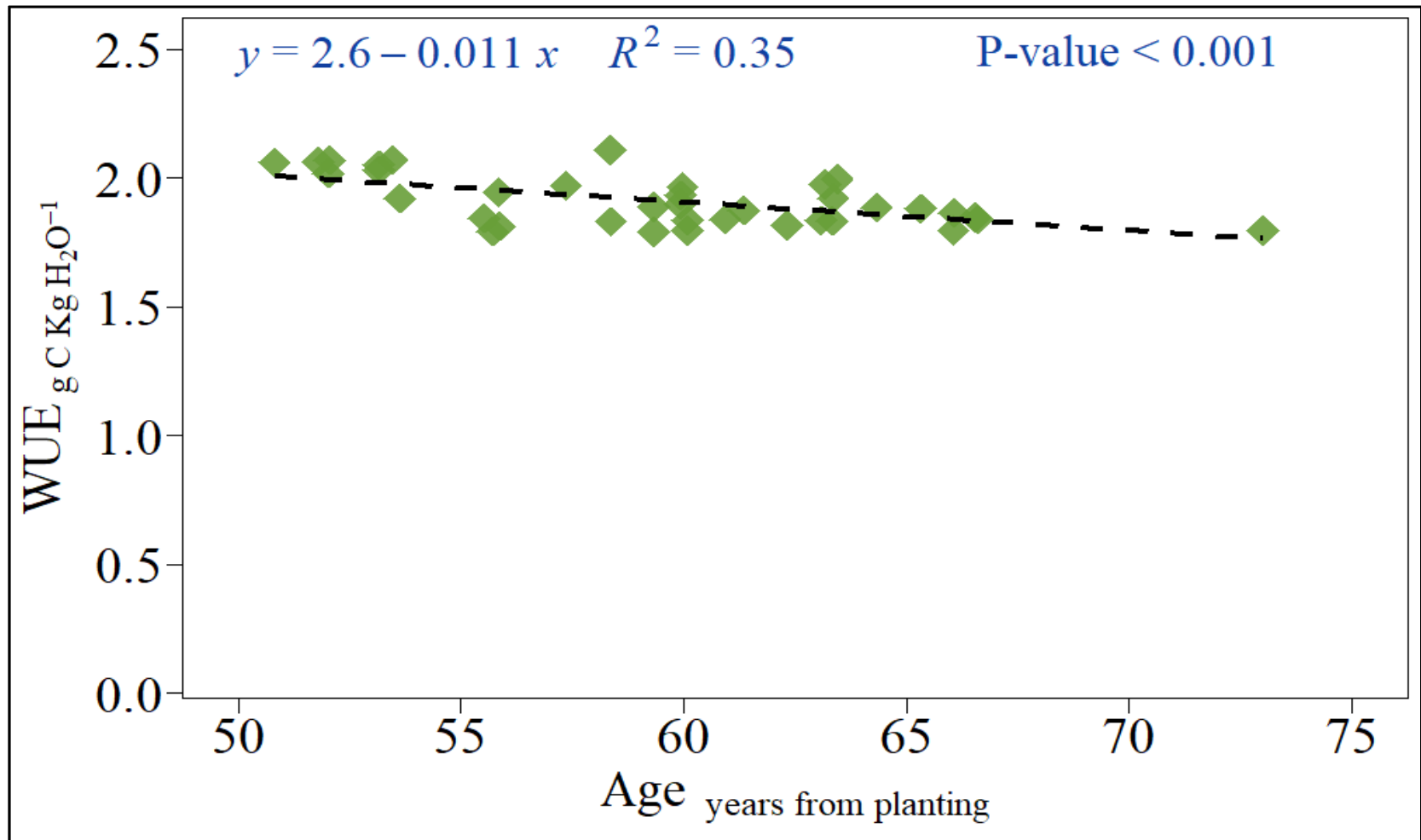
Sentinel 2a



משה
דובינין
PhD

מה עם הדינמיקה של תפקוד היער?

לא נמצא קשר בין גיל היערות לבין ייצור ראשוני (GPP) וצריכת מים (ET).
אבל כן נמצא קשר מובהק בין גיל היערות לבין יעילות ניצול מים (GPP/ET).





Sentinel 2a



משה
דובינין
PhD

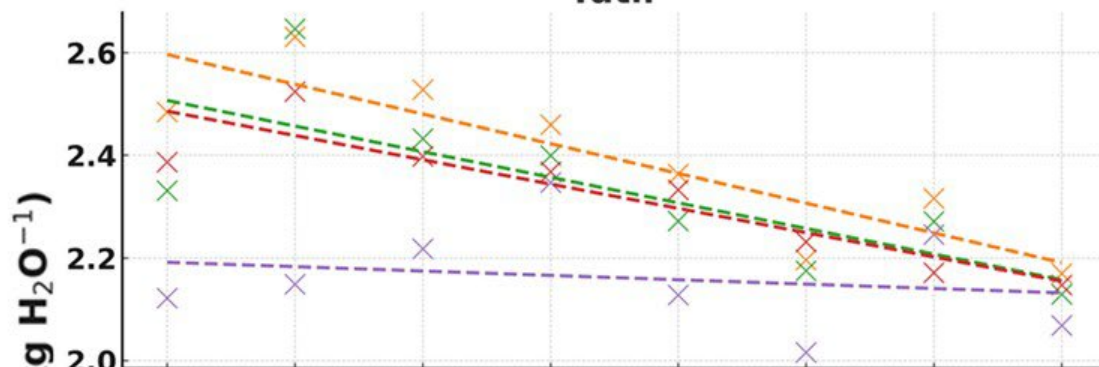
יעילות ניצול מים ($WUE=GPP/ET$)

באתרי ה- LTER

יער יתיר ויער הקדושים

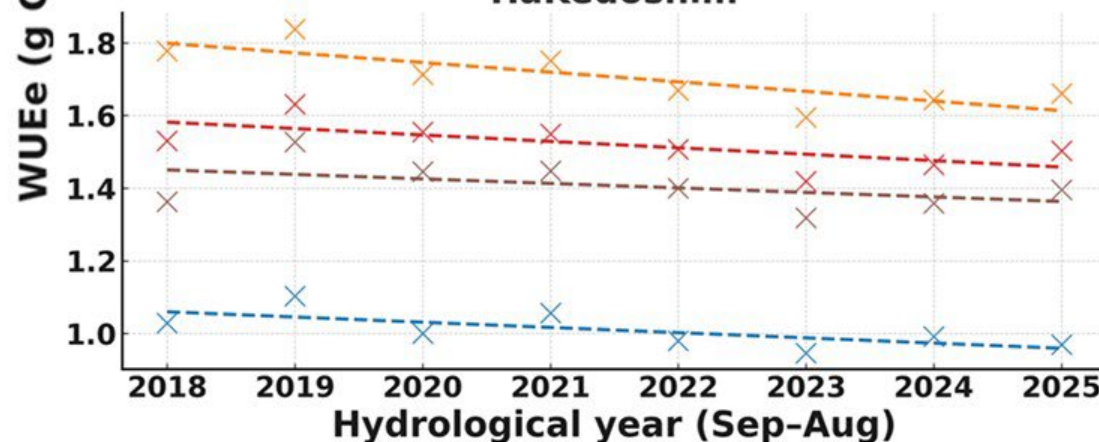
2018-2025

Yatir



100: slope=-0.058, $R^2=0.77$, $p=0.004$
200: slope=-0.050, $R^2=0.56$, $p=0.033$
300: slope=-0.047, $R^2=0.82$, $p=0.002$
350: slope=-0.009, $R^2=0.04$, $p=0.638$

HaKedoshim

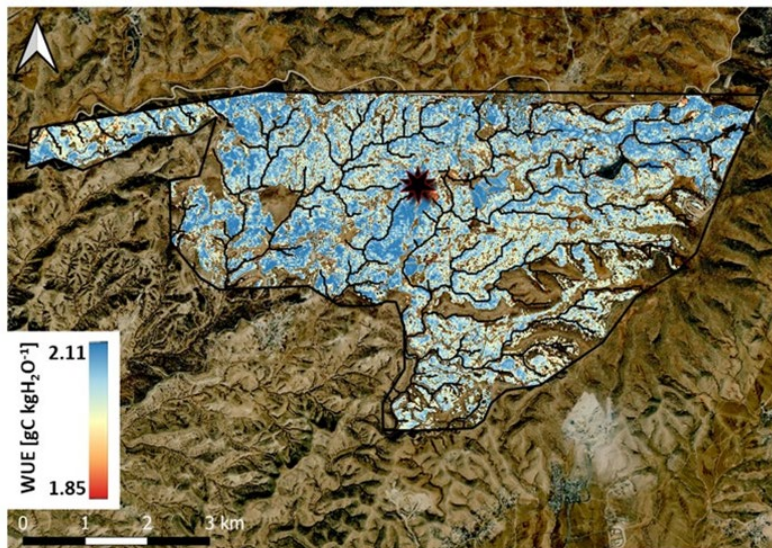


0: slope=-0.014, $R^2=0.48$, $p=0.058$
100: slope=-0.026, $R^2=0.67$, $p=0.013$
300: slope=-0.018, $R^2=0.46$, $p=0.064$
550: slope=-0.012, $R^2=0.22$, $p=0.244$

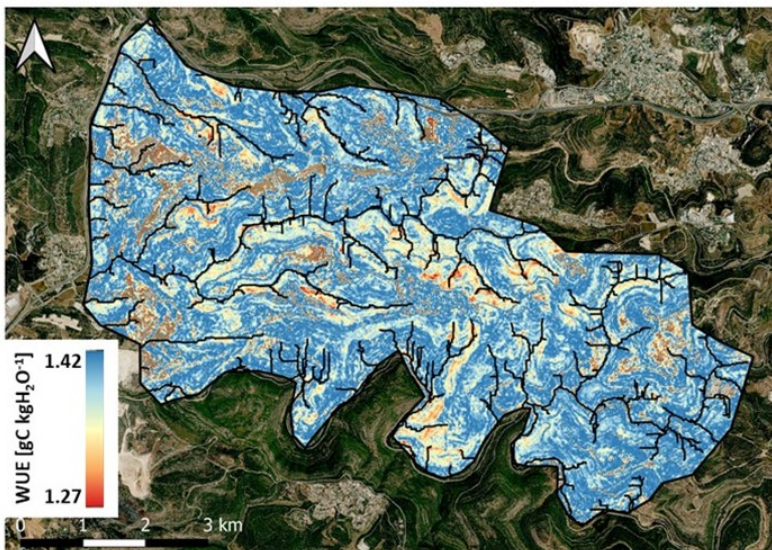
Stand density (trees ha⁻¹)

0 100 200 300 350 550

Semiarid Yatir Forest



Mediterranean HaKedoshim Forest



(Dubinin et al. 2023)

יעילות ניצול מים ($\text{WUE}=\text{GPP}/\text{ET}$)

באתרי ה- LTER

יער יתיר ויער הקדושים

- נראה כי הירידה העקבית ביעילות ניצול המים היא בעיקר תוצאה של עלייה בצריכת המים ללא שינוי בייצור הראשוני.
- מגמה זו עשויה לשקף: שינויים פיזיולוגיים (למשל, הזדקנות עצי האורן).
- שינויים אקולוגיים (שינוי הרכב המינים משליטה של אורנים למגוון מיני חורש).
- שינויים אקוהידרולוגיים (למשל, עלייה בהתאדות ביחס לדיות כתוצאה מירידה בכיסוי הצמחייה).
- יש צורך בהמשך מעקב ולימוד.



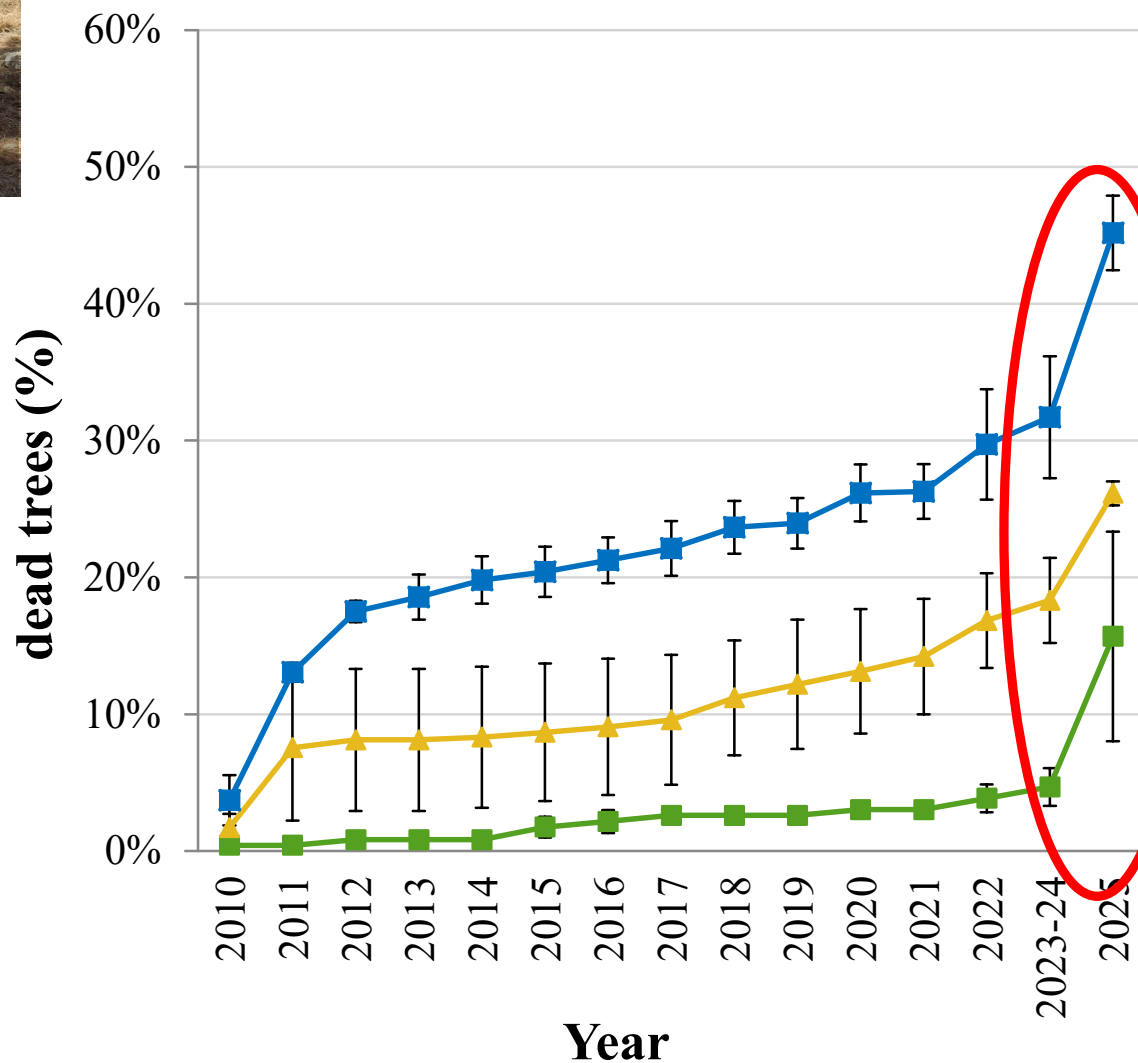
Sentinel 2a



משה
דובינין
PhD

"עוד זה מדבר וזה בא" תמותת עצים חריגה ביער הקדושים

■ 10/dunam ▲ 30/dunam ■ Control



מיקה ווייס-
איזנברג

תודה רבה!