

שרידות יער אורנים על גבול המדבר בעקבות שנות בצורת קיצונית

מעובד על פי: יקיר פרייזלר י., רוטנברג א., הר נ., יצחק י., ספרינצין ש., גרינצוויג ז., יקיר ד.
(2016), *שרידות יער אורנים על גבול המדבר בעקבות שנות בצורת קיצונית*. אקולוגיה
וסביבה (7) 1 41-51.

תקציר



איור 1: תמותת עצים ביער יתיר, 2010 צילום: תמיר קליין

תמותת עצים נרחבת נצפתה בקיץ 2010 ביער יתיר, לאחר עשור שחמש שנים מתוכו שנות בצורת, וששתיים מהן רצופות. התמותה התאפיינה בתבנית של כתמי עצים מתים לצד עצים חיים. תבנית זו הובילה למחקר השוואתי ביער בין החלקה והעץ לשם זיהוי הגורמים המסבירים תופעה זו. מתוצאות המחקר עולה, כי לתנאי בית הגידול יש חשיבות גדולה לשרידות העצים בתנאי יובש; מיקום העץ בקרקע רדודה, סלעית ואבנית על בסיס סלע קירטון רך עדיף על מיקום בקרקע עמוקה על בסיס אבן גיר. בית הגידול המיטבי מאפשר שימור של לחות הקרקע, וכתוצאה מכך, את צבירת הביומסה ההכרחית לשרידות העץ.

מילון מונחים

- **ביומסה:** המסה הכוללת של כל החומר האורגני בשטח מסוים.
- **עקה:** מצב של לחץ, שינוי בתנאי הסביבה, המצמצם את כושר המחיה של יצורים

לפני שמתחילים

נכיר את יער יתיר ואת תופעת המדבור לפני שנעמיק בפרטי המחקר. צפו בסרטונים שבקישורים וענו על השאלות בעקבותיהם:

א. סרטון 1: תרומת קק"ל ליעור מדברי ולמלחמה במידבור בקישור

https://www.youtube.com/watch?v=_sMSzKjBXc0

1. אילו תנאים אקלימיים מאפיינים את המידבר?
2. מהי אדמת לס? וכיצד נוצרים השיטפונות באזורים עם אדמת לס?
3. מהו לימן?
4. כיצד תורם יער מדברי לשמירה על המאזן האקולוגי? ציינו שתי תרומות שהסרטון מתייחס אליהן.
5. כמה טון פחמן דו-חמצני מקבע כל עץ במהלך חייו? וכמה עצים, על פי הסרטון, על כל אדם לנטוע במהלך חייו, על מנת לקזז את זיהום הפחמן הדו-חמצני אשר יצר בממוצע במהלך חייו?
6. בסרטון אומר שמעון פרס ז"ל: "ישראל חיה, קיימת ופועלת בניגוד לחוקי הטבע ויוצרת לה טבע משלה". לאחרונה פרסמה החברה להגנת הטבע את [עמדתה](#) בו היא מתנגדת לנטיעת יערות בצפון הנגב על שטחי לס. הביאו טיעונים בעד ונגד נטיעת יערות בשטחי מדבר? מה דעתכם האישית?

ב. סרטון 2: מחקר ביוספרי-אטמוספרי ביער יתיר. קישור –

<https://www.youtube.com/watch?v=VCb4hBC5kIM>

1. מדוע הקהילה המדעית מתעניינת בכמות של פחמן דו חמצני, הנקלט על ידי היער? כיצד מסביר זאת החוקר המתראיין בסרטון?
2. למה הכוונה "חצי ארידי"? (חפשו את המושג ומשמעותו)
3. מדוע ניתן לומר כי יער יתיר הוא יער מיוחד? מהם המאפיינים המיוחדים של יער זה?
4. לאילו תוצאות הגיעו החוקרים במחקר שעליו נעשה הסרטון?

ג. סרטון 3: תהליך המדבור. קישור

<https://www.youtube.com/watch?v=8vnE8rgcrkE>

1. מהו תהליך של מדבור? וכיצד הוא בא לידי ביטוי (כלומר, לאילו תופעות אנו נחשפים בשטח, כאשר מתרחש תהליך של מדבור)?
2. אילו פעולות שבני אדם עושים גורמות לתהליך המדבור?
3. כיצד רעיית יתר גורמת לתהליך של מדבור?
4. כיצד מתגבר תהליך המדבור?

5. אילו אזורים הם הנפגעים ביותר מתהליך המדבור?

מבוא

תצפיות ברחבי העולם מצביעות על עלייה במספר ובעוצמת בצורות בעשורים האחרונים. ניכרת גם עלייה בתמותת יערות, המיוחסת בחלקה לעלייה בטמפרטורת האוויר, למיעוט משקעים ולשינוי במשטר הגשמים. שינויים אלה משנים את מאפייני בית הגידול ואת יחסי הגומלין שבין העץ לסביבתו, וגורמים לשינויים בתכולת המים בקרקע, להגברת קצב ההתאדות, להתרבות חרקים המזיקים לצמח ועוד. באזורי אקלים שונים בעולם נערכים מחקרים להבנת תגובת היערות לבצורות ממושכות ולהבנת הסיבות והגורמים לתמותה של עצים. כמו במקומות אחרים בעולם, גם בישראל נצפתה בשנת 2010 תמותה מוגברת של עצים ביערות אורן נטועים, בעקבות מספר שנות בצורת רצופות.

מחקר זה בא לבחון את הסיבות והגורמים שהובילו לתמותת עצים נרחבת ביער יתיר במהלך שנת 2010. יער יתיר ניטע לפני כ-50 שנה, והוא היער הנטוע הגדול בישראל. הוא משתרע על כ-30,000 דונמים. ממוצע המשקעים הרב-שנתי בו 276 ± 86 מ"מ, ואורן ירושלים הוא המין הדומיננטי בו.

בין השנים 2000-2010 פקדו את אזור יער יתיר חמש שנות בצורת, שמתוכן שנתיים חמורות ורציפות (עם 340 ימים ללא גשם בין 2008-2009). לאחר שנות בצורת חמורות אלה נצפתה בשנת 2010 תמותת עצים שלא נצפתה ב-45 שנות קיום היער. מהערכה המבוססת על צילומי אוויר מקיץ 2010, זוהו כ-50,000 עצים מתים ברחבי היער. את תשומת לב החוקרים משכה העובדה שפיזור העצים המתים לא היה אחיד, ושהתמותה אופיינה בכתמים של קבוצת עצים מתים בצמידות לקבוצת עצים חיים. בעקבות זאת, התמקד המחקר בהשוואה בין כתמי התמותה לעצי היער סביבם.

עונים לאחר הקריאה

1. במבוא, מתוארת תופעת תמותת יערות כתגובה לבצורות. אילו שינויים חלים בתנאי המחיה של העצים, בעת בצורת, העשויים לגרום לתמותת עצים?
2. מהי מטרת המחקר?
3. בין השנים 2000-2010 פקדו את אזור יער יתיר חמש שנות בצורת שמתוכן שנתיים חמורות ורציפות. שערך – מה יכולות להיות ההשפעות של בצורת שנמשכת שנתיים רצוף בהשוואה לבצורת שאינה רציפה?
4. כיצד התבצעה הערכה של כמות העצים המתים? מדוע לדעתכם נבחרה שיטה זו? ציינו יתרון וחסרון לשיטה.

5. מה התגלה בהערכה של העצים המתים?
6. ברצונכם לערוך השוואה בין כתמי התמותה לעצי היער סביבם. מה תציעו לבדוק?

מטרת המחקר והשערות המחקר

במחקר בחנו מספר גורמים שהיו עשויים להשפיע על התמותה: השפעת התבנית הגאומורפולוגית על מצב העצים, ההבדלים הגנטיים בין העצים וקשר שבין תכונות הקרקע ותת-הקרקע לתמותה. הנחת המחקר הייתה כי לשילוב גורמים אלה ישנה השפעה על חיוניות העצים ועל שרידותם בשנות בצורת קיצוניות.

מספר השערות מחקר הובילו את תכנון המחקר וביצעו ונבחנו בו:

- א. ישנם הבדלים גנטיים בין העצים השורדים לעצים המתים
 - ב. כתמיות התמותה נובעת מההבדלים הגאומורפולוגיים בין תאי שטח השונים
 - ג. שיפוע, מפנה, גיל וצפיפות החלקה הם גורמים משמעותיים בסיכוי הישרדות העצים
 - ד. מבנה תת-הקרקע של החלקות השורדות שונה משל החלקות הרגישות
- מאמר זה מתמקד רק בבחינת השערה ד.

מילון מונחים

- **תבנית גיאומורפולוגית:** הצורה והמאפיינים של פני השטח
- **תת הקרקע:** החלק התחתון של הקרקע, שאינו גובל בפני השטח
- **חיוניות:** חיים

עונים לאחר הקריאה

7. מהי השערה? ומהו אישוש של השערה? [חקרו באינטרנט וחפשו הגדרות מתאימות]
8. לאילו גורמים, העשויים להשפיע על תמותת האורנים, התייחסו השערות המחקר?
9. נסחו הצעה לשאלת חקר המבוססת על אחת מבין השערות שהוצעו. רשמו מהו המשתנה התלוי והמשתנה הבלתי תלוי בשאלה שהצעתם.

שיטות וחומרים

בעקבות תמותת העצים, הזמינה קק"ל בשנת 2010 צילומי אוויר של היער שבאמצעותם זוהו העצים המתים ביער. נמצא שפיזור העצים המתים הוא כתמי: קבוצת עצים מתים ליד עצי היער החיים. מתוך כלל העצים המתים, סומנו בשטח 20 חלקות בגודל של 800 מ"ר כל אחת. בכל חלקה אותרו שתי תת חלקות עם אותם תנאים מרחביים (שיפוע, מפנה, נוחות הגעה לרכבי שטח ועבודה): תת חלקה של עצים מתים, שבה מעל ל-80% מהעצים נמצאו מתים, והיא הוגדרה כ'חלקה רגישה', ובצמוד לה, תת חלקה חיה שבה מעל ל-80% מהעצים נמצאו חיים, והיא הוגדרה כ'חלקה עמידה'.

המחקר התמקד בהשוואה בין חלקות משני סוגים אלה.

בחינת החלקות השונות:

א. סקר מצאי – בכל חלקה נבדקו צפיפות העצים (מספר עצים לדונם), קוטר, גובה, ביומסה (ק"ג לעץ), לפי שיטת מדידה מקובלות של קק"ל, כמו כן נספרו גדמים כדי להבין צפיפות נטיעה (מספר עצים לדונם).

ב. סקר קרקע – בנוסף, ב-11 מתוך 20 חלקות המחקר נערך סקר קרקע מקיף באמצעות חפירת תעלה באורך של 10 מטרים ובעומק של כמטר עד מטר וחצי. הסקר כלל בדיקות קרקע

כימיות ופיזיקליות ובדיקות של עומק הקרקע, אחוז האבנים ואחוז כיסוי סלעי של הקרקע, צפיפות השורשים (מספר שורשים למ"ר), לאורך פרופיל עומק הקרקע בשלושה מקטעי מדידה לאורך התעלה (איור 2).

ג. קצב גידול הטבעות השנתיות - ב-11 מתוך 20 חלקות המחקר נערך סקר שבו נמדד קצב גידול הטבעות השנתיות של העצים. קצב זה נבדק ע"י השוואת הטבעות ב 30 עצים חיים וב 30 עצים מתים.

עונים לאחר הקריאה

10. מהן חלקות רגישות ומהן חלקות עמידות?

11. המחקר התמקד בהשוואה בין חלקות משני סוגים אלה, הרגישות והעמידות. מדוע לדעתכם נבחרו הגורמים שנבדקו בחלקות המחקר?

12. האם נשמרו גורמים קבועים במחקר זה? הסבירו מדוע חשוב לשמור על גורמים קבועים במחקר.



איור 2 תעלה שנחפרה לעריכת סקר הקרקע

העשרה: מהו דנדרוכרונולוגיה ומה ניתן ללמוד מטבעות של עץ?

מקור: אתר קק"ל לצעירים

דנדרוכרונולוגיה (ביוניית דנדרון – עץ; וכרונוס – זמן) הוא שמו של המדע העוסק בקביעת גיל העץ והתפתחותו באמצעות מדידת טבעות הגדילה שלו בצורה המדויקת ביותר. המדע מתבסס על שוני בעובי טבעות הגדילה של העץ, בהתאם לקצבי הגדילה השונים של העץ בעונות השנה המתחלפות.

אם תסתכלו על חתך של עץ, תבחינו מיד בכך שהטבעות הפנימיות שלו רחבות, וככל שמתווספות יותר טבעות, כך הן הופכות צרות יותר, הסיבה היא גידול מואץ יותר של העץ בצעירותו והאטה בגידול עם ההתבגרות. עוד דבר מעניין הוא צבע הטבעות – טבעות בהירות מצביעות על עונה שבה היו הרבה מים (חורף, אצלנו), ואילו הכהות מצביעות על עונה יבשה (קיץ, אצלנו).



טבעות העץ. עיבוד תמונה: יניב זליג, קק"ל. מקור: אתר קק"ל לצעירים

מה, למשל, עושה הדנדרוכרונולוג? בואו ניקח את חורף 1991-1992, שהיה גשום במיוחד. הדנדרוכרונולוג, שמתעניין בהשפעת המשקעים המרובים על טבעות העץ, ימצא את הטבעת הרלוונטית לפי גיל בעץ בוגר שחווה את החורף המשמעותי הזה. כך שאם אנו נמצאים כעת בתחילתה של שנת 2019, הוא יספור לאחור כ-27 טבעות כדי להגיע לטבעת של חורף זה, ולבחון את השפעת המשקעים המרובים עליה. מן הסתם הוא ימצא שם טבעת בהירה ורחבה.

גילו של העץ מושפע מתנאי הסביבה של העץ באותה השנה (אקלים ומרחב פיזי). בדומה לבני האדם, גם העץ בצעירותו מתפתח בקצב מהיר יותר מאשר בגילים מבוגרים. לכן נראה טבעות רחבות יחסית במרכז העץ. ככל שנתקדם עם השנים, הטבעות יהיו צרות יותר. הספירה של הטבעות מתבצעת ממרכז העץ עד הקליפה. כדי לאמוד את גילו של העץ באמצעות ספירת טבעותיו אין צורך לכרות אותו. לצורך זה משתמשים החוקרים במקדח ייעודי שבעזרתו מוציאים רק פיסה צרה (קדוחה), שאינה פוגעת כלל בעץ ואפשר לספור את הטבעות שעל גביה.

תוצאות - השוואה בין חלקות 'רגישות' ו'עמידות'

תכונות העצים - בבחינת ההבדלים בין חלקות 'רגישות' וחלקות 'עמידות', נמצא כי הקוטר, הגובה והביומסה של העצים בחלקות ה'עמידות' היו גבוהים באופן מובהק מאלה שבחלקות ה'רגישות' (טבלה 1).

חלקה עמידה	חלקה רגישה	
36	36	צפיפות (עצים לדונם)
61	64	צפיפות נטיעה (עצים לדונם)
17.2	15	קוטר (ס"מ)
10	8.9	גובה (מטרים)
123.3	60.5	ביומסה (ק"ג לעץ)
42	42	גיל החלקה (שנים)
75	107	עומק הקרקע (ס"מ)
31.7	18	אחוז האבנים (%)
36.8	8.8	כיסוי סלעי של הקרקע (%)

טבלה 1 ערכים ממוצעים של משתנים שונים בחלקות עמידות וחלקות רגישות

עונים לאחר הקריאה

13. התבוננו בטבלה 1 וכתבו – באילו מדדים הערכים שנמדדו היו גבוהים יותר בחלקות העמידות בהשוואה לרגישות? ואילו מדדים נמוכים יותר בהשוואה זו? ובאילו הם היו שווים זה לזה?

המדדים שבהם הערכים הם גבוהים יותר בחלקות העמידות בהשוואה לרגישות	המדדים שבהם הערכים הם נמוכים יותר בחלקות העמידות בהשוואה לרגישות	המדדים שבהם הערכים הם שווים, בהשוואה שבין החלקות העמידות והרגישות

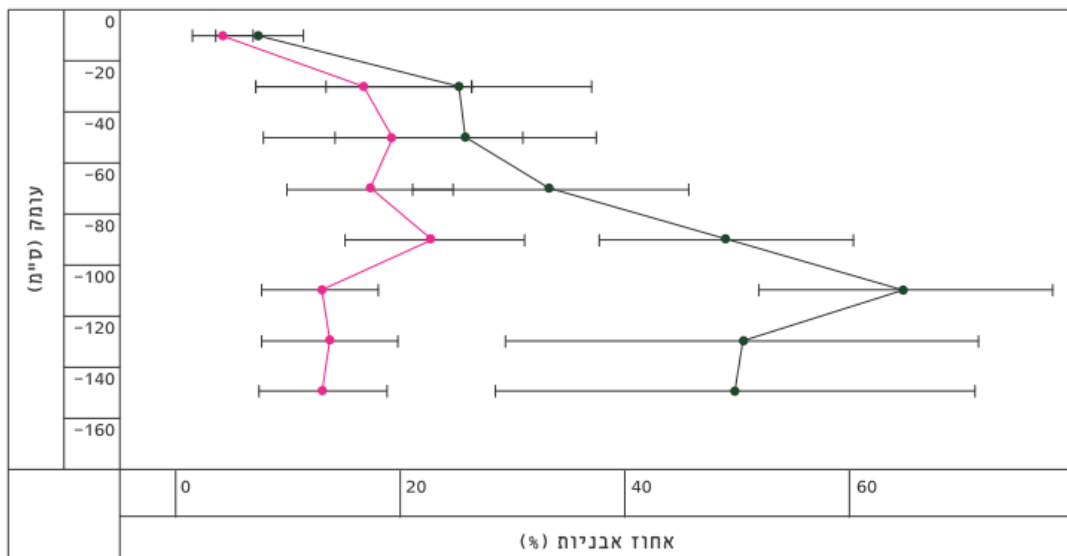
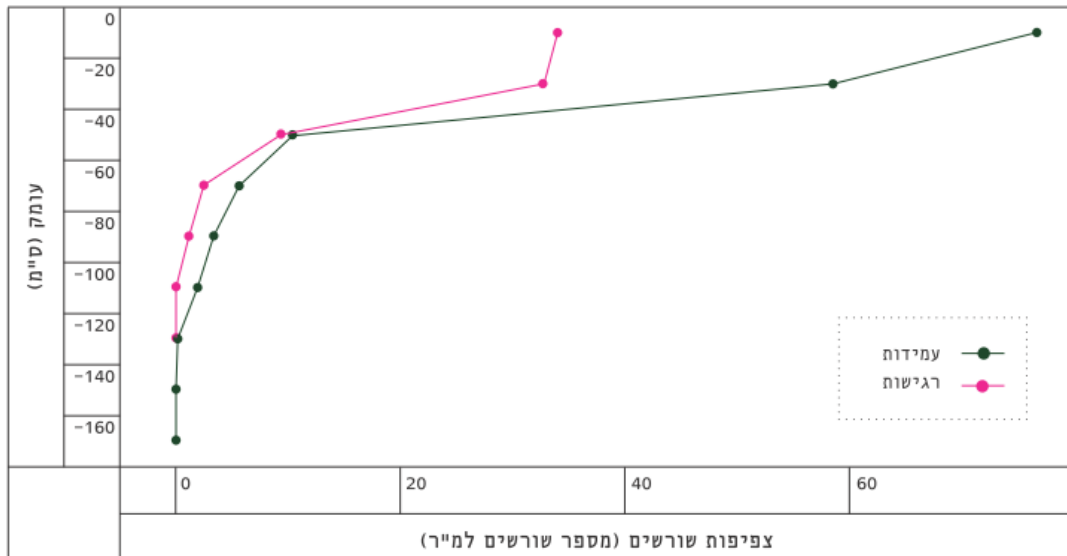
14. מבין כל הגורמים שמופיעים בטבלה 1 ונבדקו בהשוואה בין החלקות, מהם הגורמים התלויים ומהם הגורמים הבלתי תלויים?

15. מבין הגורמים הבלתי תלויים שצינתם – מי להערכתכם הוא הגורם המשפיע ביותר על הגורמים התלויים? הסבירו.

תוצאות – כיסוי הקרקע, איפיון תת הקרקע והשורשים

בחינת כיסוי פני הקרקע הראתה כי בחלקות ה'עמידות' אחוז כיסוי הקרקע בסלע היה 36% ובחלקות ה'רגישות' היה 8% (טבלה 1). בתעלות שנחפרו לבדיקת סקר הקרקע, נמצא שצפיפות השורשים בפרופיל הקרקע, מפני הקרקע ועד עומק של 1 מטר, הייתה גבוהה משמעותית, עד פי שניים, בחלקות ה'עמידות' לעומת החלקות ה'רגישות' (איור 4 שמקורו במאמר).

החלקות ה'רגישות' התאפיינו בקרקע עמוקה יחסית (107 ס"מ בממוצע), ועם ריכוז נמוך יחסית של אבני גיר בעומק הקרקע, בהשוואה לחלקות ה'עמידות' שהתאפיינו בקרקע רדודה יחסית (57 ס"מ בממוצע) עם אחוז גבוה של אבנים בעומק קרקע (אבניות) (איור 4 שמקורו במאמר), ועם סלע קירטון רך כסלע אם.



איור 4: תכונות תת הקרקע בחלקות העמידות והרגישות:

(א) צפיפות שורשים בחתך הקרקע (ב) אחוז האבנים בחתך הקרקע

16. התבוננו באיור 4 מהמאמר ומלאו את הטבלה שלהלן. בהסתמך על הטבלה, נסחו מהם

ההבדלים בין חלקות עמידות ובין חלקות רגישות?

אחוז האבנים בחתך הקרקע		מספר שורשים למ"ר		גובה קרקע
חלקות רגישות	חלקות עמידות	חלקות רגישות	חלקות עמידות	
				0
				-20
				-40
				-60
				-120
				-140

17. שערו – האם ייתכן שיש קשר בין אחוז האבנים בקרקע לצפיפות השורשים? הסבירו.

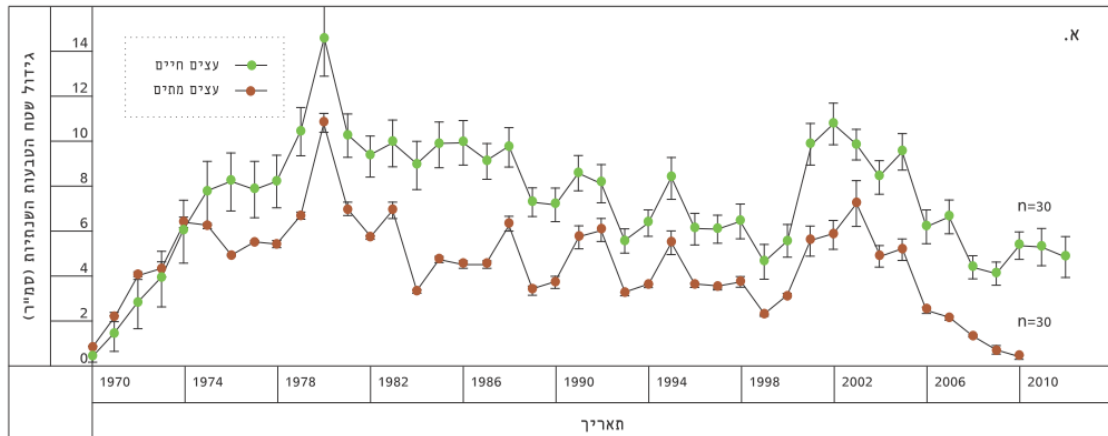
18. בהסתמך על התוצאות שתוארו עד כה, נסחו מהם ההבדלים בין החלקות העמידות

ובין הרגישות מבחינת: א. מאפייני העצים וב. מאפייני הקרקע (הן כיסוי הקרקע והן

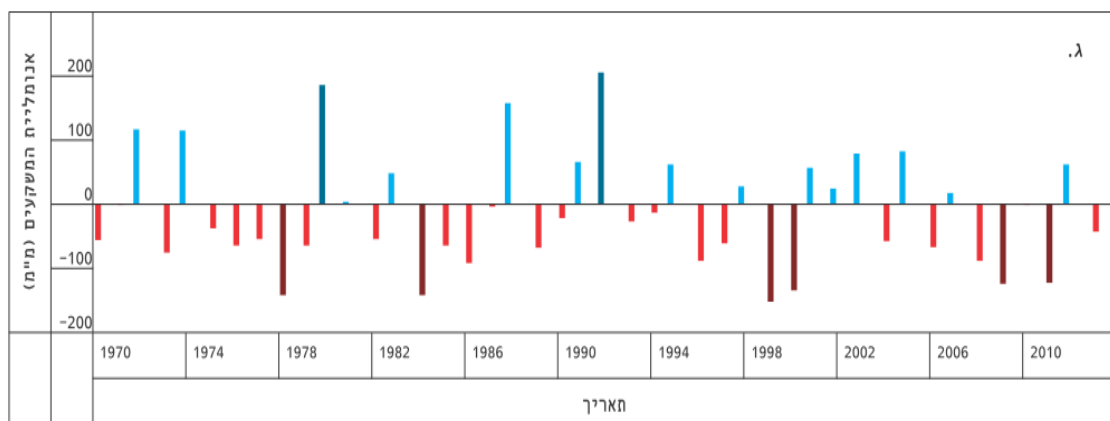
בעומקה). אילו תנאי קרקע הם העדיפים יותר עבור העצים?

תוצאות – השוואת עובי הטבעות השנתיות

השוואת עובי הטבעות השנתיות בין צמדי העצים החיים והמתים מראה שונות משמעותית בדפוס הגדילה של העצים השכנים. קצב הגדילה של העצים שמתו ב-2010, קטן בכ 2% מזה של שכניהם החיים (איור 3 שמקורו במאמר), והבדל זה החל להתבטא כבר משנת 1974. שנת הבצורת של 1984 (איור 3) הגדילה את הפער בין צמדי העצים, ובסופו של דבר הובילה לתמותה הסופית של העצים המוחלשים בשנת 2010, אחרי 25 שנים.



איור 3 א. גידול שטח טבעות שנתי שנמדד בזוגות עצים חיים ומתים



איור 3.ג. התפלגות של ממוצע כמות המשקעים השנתית. קו האפס מייצג את ממוצע המשקעים הרב שנתי. שנות בצורת מיוצגות מתחת לקו האפס בצבעי אדום ושנים גשומות מיוצגות מעל קו האפס בצבעי כחול. הצבעים הכהים מייצגים שנה ברוכה במיוחד או בצורת קשה במיוחד.

עונים לאחר הקריאה

19. התבוננו באיור 3 ג – מה היו השנים בהן הייתה בצורת?
20. האם השנים 2009 ו-2011 מייצגות שנות בצורת רצופות? על פי איור 3 ג – מה קרה בשנת 2010?
21. על פי איור 3 א, שיא גידול שטח הטבעות היה בשנת 1980. כיצד ניתן להסביר זאת?

דיון ומסקנות

מתוצאות המחקר עולה כי בית גידול המתאפיין בקרקע רדודה, המתפתחת מעל לסלע אם של קירטון, עם אחוז כיסוי גדול יחסית של סלעים בפני השטח הוא בית גידול טוב יותר לעצי האורן מאשר קרקע עמוקה, המתפתחת מעל לסלע עם אבני גיר, עם אחוז כיסוי נמוך יותר של סלעים. מחישובים שונים של מאזן המים בשני סוגי הקרקעות (חישובים שאינם מוצגים במאמר המעובד שלפניכם אך נמצאים במאמר המקורי) עולה כי במהלך תקופת החורף, ריכוז המים בקרקע שמתפתחת מעל לקירטון, גבוה יותר מזה של הקרקע שמתפתחת מעל לסלע עם תצבירי גיר. חלק ממים אלו נותרים בקרקע גם בתקופת הקיץ והם זמינים לעצים.

מבחינת השערות המחקר ניתן לומר כי ישנה שונות מובהקת במבנה תת-הקרקע של החלקות השורדות לעומת החלקות ה'רגישות', דבר המוביל לשינוי במשק המים של העצים. חלקה סלעית מעניקה יתרון דרמטי להתפתחות ושרידות עצים באזור יובשני. נוכחות הסלע מגבירה את כמות המים הזמינים לעץ שבסביבתו.

יערות אורנים על סף המדבר רגישים יותר לתנאי האקלים המשתנים. אי לכך, הטיפול היעני צריך להתאים לתנאי עקה ויובש קיצוניים. זיהוי סימני דעיכה מוקדמת של עצים, מספר שנים לפני התמותה הסופית, כפי שעולה מעובי הטבעות השנתיות (איור 3), מאפשר זיהוי מוקדם של עצים השרויים בעקה. דילול מבוקר ומושכל של עצים מסוימים, שסיכויי הישרדותם נמוכים, יכול להקל על עצים חזקים יותר להתפתח ולעמוד בשנות בצורת קשות ולהפחית במעט את התחרות, שיש לה השפעה בתנאי יובש. תחרות על מקורות מים ועל משאבים אחרים היא גורם משמעותי ביכולת הישרדות היער ולכן צפיפות החלקה הוא גורם משמעותי. צפיפות מומלצת היא צפיפות של 30 עצים לדונם.

כדי להרחיב את מסקנות המחקר למערכות אקולוגיות אחרות יש צורך בהרחבת המחקר לאתרים שונים לאורך מפל המשקעים בישראל.

עונים לאחר הקריאה

22. בעקבות תוצאות המחקר, מהן המסקנות המעשיות הנוגעות לניהול היער?